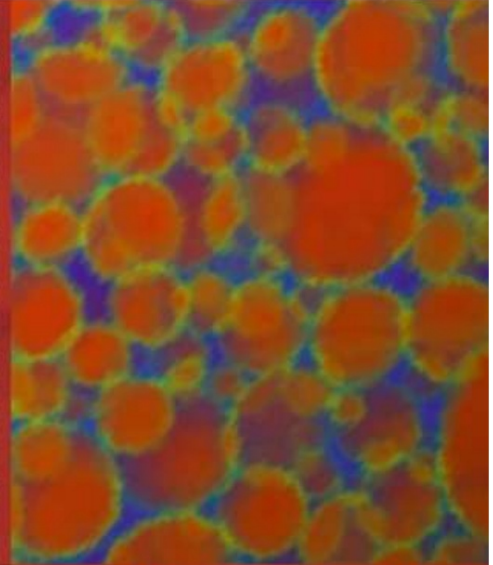


THE FRONTIERS COLLECTION



Juan Manuel Durán

COMPUTER SIMULATIONS IN SCIENCE AND ENGINEERING

Concepts–Practices–Perspectives

 Springer

Хуан М. Дюран

Компьютерное моделирование в науке и технике

Концепции - Практики - Перспективы

НЕ ЦИТИРОВАНИЕ - НЕ ВЫСЛЕНИЕ

Пятница, 17 августа 2018 г.

Спрингер

Маме, папе и Джо за
безоговорочную поддержку и любовь.

моей семье
Я не смог бы совершить это путешествие без
тебя

Маури В
настоящей дружбе.

Мануэлю С
любви и восхищением.

Предисловие

Повсеместное присутствие компьютерного моделирования во всех областях исследований свидетельствует об их роли в качестве новой движущей силы развития наук и инженерных исследований. Кажется, ничто не ускользает от образа успеха, к которому компьютерное моделирование проецирует исследователяское сообщество и широкую публику. Один простой способ проверить это, нужно спросить себя, как современная наука и инженерный вид без применения компьютерного моделирования. Ответ будет без условно расходиться с существующим у нас представлением о научных и инженерных исследованиях.

Несмотря на то, что компьютерные симуляции успешны, они также являются методами, которые терпят неудачу. В их использовании есть опасность; и опасность, которую исследователи используют из них компьютерное моделирование поднимает важные вопросы, лежащие в основе современной науки и инженерной практики. В связи с этим компьютерное моделирование составляет фантастический предмет исследования для естественных наук, социальных наук, инженерии, как в нашем случае, так же и для философии. Исследования по компьютерному моделированию затрагивают множество различных аспектов научных и инженерных исследований и пробуждают философские и настоятельные вопросы интерпретации, тесно связанные с проблемами в экспериментальных установках и инженерных приложениях.

Эта книга знакомит читателя в доступной и самостоятельной форме с этим различным увлекательным аспектом компьютерного моделирования. Историческое исследование окончательных идей компьютерного моделирования за последние шестьдесят лет открывает огромный мир компьютерных симуляций и их последствий. Фокус затем переходит к обсуждению их методологии, их эпистемологии и возможности этической основы среди прочего.

Объем этой книги относительно широк, чтобы познакомить читателя с многогранностью компьютерного моделирования. На протяжении всей книги я стремился поддерживать здоровый баланс между окончательными идеями, связанными с философией компьютерного моделирования, с одной стороны, и их практикой в науке и инженерии с другой стороны. Этой целью книга была задумана для широкого круга аудитории, от ученых и инженеров, политиков и академиков до общего общественный. Он приветствует всех, кто интересуется философскими вопросами – и мыслимыми ответами – на вопросы, возникающие в теории и практике компьютерного моделирования. Это

Следует отметить, что хотя книга написана в философском тоне, в ней нет глубоких философских дискуссий. Скорее, он стремится исследовать синергию между техническими аспектами компьютерного моделирования и возникающей при этом философской ценностью. В этом отношении идеальными читателями этой книги являются исследователи разных дисциплин, работающие над компьютерным моделированием, но имеющие философские наклонности. Это, конечно, не означает, что профессиональные философы найдут на ее страницах проблемы и вопросы для собственного исследования.

Прелесть компьютерных симуляций в том, что они предлагают плодородную почву для исследований как для исследователей, использующих симуляции, так и для тех, кто их размышляет. В этом отношении книга, хотя и имеет некоторую достоянность, во многих отношениях ей не хватает. Например, он не касается работы компьютерного моделирования в социальных науках, очень плодотворной области исследований. В нем также не обсуждается использование компьютерных симуляций для разработки и политики, их использование для отчетности перед широкой общественностью а также их роль в демократическом обществе, где науки и инженерная практика являются общим благом. Это, конечно, печально. Но есть две причины, почему я надеюсь, извиняют книгу от этих недостатков. Во-первых, я не являюсь специалистом ни в одной из этих областей исследований, поэтому мой вклад не представлял бы особого интереса. Каждая из упомянутых областей сама по себе порождает определенные проблемы, о которых те, кто занимается их исследованием, знают лучше всего. Вторая причина связана с тем, что, как известно всем исследователям, время — в данном случае и пространство — ираны. Было бы невыполнимой задачей хотя бы поверхностно коснуться многих областей, в которых активно процветает компьютерное моделирование.

Как правило, в книге я представляю аданную ему и обсуждаю проблемы и возможные решения. Ни одна тема не должна рассматриваться как не связанная с какой-либо другой темой в книге, а предлагаемые ответы должны рассматриваться как окончательные. В этом смысле книга нацелена на мотивацию иудальнейших дискуссий, а не на предоставление закрытого набора тем и ответов на их основные вопросы. Тем не менее каждая глава должна представлять собой самостоятельное обсуждение общей темы компьютерного моделирования. Также же должен упомянуть, что каждая глава содержит обильные ссылки на специализированную литературу, что дает читателю возможность продолжить свои собственные интересы по данной теме.

Книга организована следующим образом. В главе 1 я отвечаю на вопрос «что такое компьютерное моделирование?» дав исторический обзор концепции. Проследив историю компьютерного моделирования до начала 1960-х годов, мы вскоре поймем, что многие современные определения во многом обязаны этим ранним попыткам. Правильное понимание исторической концепции окажется очень важным для развития четкого понимания компьютерного моделирования. В частности, выделяя две традиции, одна из которых делает акцент на реализацию математических моделей на компьютере, а другая, для которой желтой от личительной чертой является репрезентативность компьютерной симуляции. В зависимости от того, какой традиции решили следовать исследователи, будут различаться предположения и последствия компьютерного моделирования. Глава заканчивается обсуждением ставшей стандартной классификацией компьютерных симуляций.

Суть главы 2 состоит в том, чтобы представить и подробно обсудить составляющие имитационных моделей, то есть модели, лежащие в основе компьютерного моделирования. К

С этой целью обсуждаются различные подходы к научным и инженерным моделям с целью выявления имитационных моделей как совершенно другого вида. Как только это завершено, глава продолжает представлять и обсуждать триединицы анализа, составляющие компьютерного моделирования, а именно, спецификацию, алгоритмы и компьютерный процесс. Эта глава является наиболее технической в книге, поскольку она рисует в основном из исследований в области разработки программного обеспечения и информатики. Для того, чтобы уравнивать это с некоторой философией, это также представляет несколько проблем, связанных с этими единицами анализа – как по отдельности, так и по отношению друг к другу.

Единственная цель главы состоит в том, чтобы представить обсуждение того, являются ли компьютерные симуляции эпистемологически эквивалентны лабораторным экспериментам. Важность установления такой эквивалентности уходит своими корнями в традицию к оторой рассматривает эксперимент как прочную основу для нашего понимания мира. Поскольку большая часть работы, требуемая от компьютерного моделирования, состоит в том, чтобы обеспечить знание и понимание явлений реального мира, которые в противном случае были бы невозможны тогда. Естественно возникает вопрос об эпистемологической силе по сравнению с лабораторными экспериментами. Следуя философской традиции обсуждения этих проблем, я сосредоточусь на проверенной временем проблеме «материальности» компьютерной симуляции.

Хотя главы 4 и 5 независимы друг от друга, они разделяют интерес к установлению эпистемологически сильных компьютерных симуляций. В то время как в главе 4 это делается путем обсуждения многих способов обеспечения надежности компьютерных симуляций, в главе 5 это делается путем демонстрации многих эпистемологически функций, присущих компьютерным симуляциям. Эти две главы представляют собой мой вклад во многие попытки обосновать эпистемологически компьютерные симуляции. Отметим, что эти главы в своей основе являются ответом на главу 2, в которой обсуждается компьютерная симуляция против лабораторных экспериментов.

Далее в главе 6 рассматриваются вопросы, которые, возможно, менее заметны либературу. Как компьютерные симуляции. Основной вопрос здесь заключается в том, могут ли компьютерные симуляции следовать пониманию как третьей парадигмы научных и инженерных исследований – теория, эксперимент и большие данные, являющиеся первой, второй и третьей парадигмами соответственно. С этой целью сначала рассажу обиспользовании больших данных в научной и инженерной практике и о том, что означает быть парадигмой. Имея в виду эти элементы, я начинаю с обсуждения возможностей проведения причинно-следственных связей в науке о больших данных, а также о компьютерном моделировании, и о том, что это означает для установления этиметодологии как парадигмы исследования. Я заканчиваю главу сравнением компьютерного моделирования и больших данных, уделяя особое внимание тому, что отличает их.

Последняя глава книги, глава 7, посвящена проблеме, которая практически не исследована либературу по этике технологий, а именно перспективам этика компьютерного моделирования. Следует признать, что либература по компьютерному моделированию больше интересуются этиметодологией и эпистемологией, а гораздо меньше – их этическое последствие, связанные с проектированием, внедрением и использованием компьютерных симуляций. В ответ на такое невнимание я подхожу к этой главе как к обзорной этической проблеме, рассматриваемой в специальной либературе.

и с

Штутгарт, Германия,
август 2018 г.

Предисловие

Хуан М. Дифан

Благодарности

Как это обычно бывает, в его создании участвовало много людей.

Книга возможна. Прежде всего, я хотел бы поблагодарить Марису Веласко, Пио Гарсиа и Пола Хамфриса за их первоначальную поддержку в написании этой книги. Все три оказали сильное влияние на мое философское образование, и эта книга, безусловно, владеет ими много. Всем троим моя благодарность.

Эта книга началась в Аргентине и закончилась в Германии. Постдок в Centro de Investigaciones de la Facultad de Filosofía y Humanidades (CIFYH), Национальный университет Кордовы (UNC - Аргентина), финансируемый Национальным советом по научным и техническим исследованиям (CONICET), у меня была возможность написать и обсудить первые главы моей исследовательской группой. За это я благодарен Виктору Родригесу, Хосе Ахумада, Хулиан Рейносо, Максимилиано Боццолли, Пенелопе Лодейро, Ксавьер Кюель, Хавьер Бланко и Мария Сильвия Польцелла. Андрес Ильчич — еще один член этой группы, но он заслуживает особого признания. Андрес прочитал каждую главу книги, сделал удивительные комментарии и исправил несколько ошибок, которых я не заметил. Он также старательно проверил многие формулы которых я использую в книге. За это и за бесчисленные обсуждения, которых у нас были, спасибо, Энди. Естественно, за все ошибки от вечного Искренняя благодарность CIFYH, UNC и CONICET за их поддержку гуманитарных наук в целом и меня в частности.

Я также должен поблагодарить за это многих людей, хотя они и не внесли прямого вклада. В книге, они выражали свою поддержку и ободрение во всех хороших и плохих дни. Моя вечная благодарность моему хорошему другу Маурисио Залазару и моему сестре Джо. Спасибо вам, ребята, за то, что вы были рядом, когда я нуждался в вас больше всего. Мои родители также были постоянным источником поддержки и любви, спасибо маме и папе, это книги не было бы без вас. Спасибо также Виктору Скарафии и моему недавно приемная семья: Помперыи Эберы Спасибо всем, ребята, за то, что вы такие классные. Особая благодарность двум Ома: Оме Помпер и Оме Эбер. Я люблю вас, дамы. Наконец, я хочу поблагодарить Петера Острича за его поддержку во многих аспектах моей жизни, особенно в их отношении к этой книге.

Книга закончилась на кафедре философии наук и техники. Компьютерного моделирования в Центре высокопроизводительных исследований в Штутгарте

(HLRS), Штутгартский университет. Отдел был создан Майклом Решем и Андреасом Кэминским и финансируется Министерством науки, Wissenschaft, Forschung und Kunst Baden-Württemberg (MWK), от которого благодаря созданию комфортной атмосферы для работы над книгой. Выражаю благодарность всем участникам от дела, Николасу Форманек, Михаэлю Херманну, Алене Вакербарт и Хильдгунд Лампе, я никогда не забуду множество фундаментальных философских дискуссий, которые у нас были за обедом — и за нашей новой эспрессо-машиной — на самые разные темы я чувствую особенно повезло делить офис с Ником и Майклом, хорошими друзьями и личными философами. Спасибо, ребята, за проверку формул, которые я вложил в книгу. Ошибки, опять же, полностью моей ответственности. Спасибо также Бюрну Схему-бера, настоящий переодетый философ, для нашего времени обсуждающий столько технических вопросов о компьютерных симуляциях, не оторвав оторванных мест в книге. Отдел визуализации HLRS выражает благодарность Мартину Омюллеру, Томасу Обсту, Вольфгангу Шотте и Уве Весснеру, которые терпеливо объяснили мне многие детали своей работы, а также предоставили изображения для дополненной реальности и виртуальной реальности. Реальность обсуждалась в главе о визуализации. Изображения торнадо, которые также в этой главе были предоставлены Национальным центром суперкомпьютерных приложений Университета Иллинойса в Урбана-Шампейне. За это я в долгу Долгу Барбаре Джуэтт за ее терпение, время и помощь в поиске изображений. Я также хотел бы выразить благодарность моему бывшему научному руководителю Улле Помпе Аламе за поддержку и предложения по ранним черновикам. Отдельное спасибо Рафаэлю ван Ривелю из университета Дуйсбург-Эссен за их поддержку в создании короткого фильма. Срок товарищества. По ряду причин, прямо и косвенно связанных с книгой, я в долгу перед Маурисио Вилласенором, Жорди Вальверде, Леандром Гири, Вероникой Педерсен, Мануэлем Баррантесом, Игнатом Бранком, Рамоном Альварадом, Йоханнесом Ленхардом и Клаусом Бейсбартом. Спасибо всем за ваши комментарии, предложения, поддержку во время различных эпизодов из того, что вел со мной всевозможные философские беседы Андреа Лахи, мой редактор в Springer, заслуживает большой похвалы за ее терпения, ободрения и полезной поддержки при написании этой книги. Хотя я бы продал жал полировать идею этой книги, что не менее важно, мой английский, пришло время положить это к онецу. Выражаю огромную благодарность Тунсеру Орну, с которым я переписывался во многих переписках по этим и другим моральным проблемам компьютерного моделирования, что привело к заключительной главе книги. Любовь и преданность профессора Орна философским исследованиям компьютерного моделирования являются источником вдохновения. Наконец, во времена, когда науки и техники, несомненно, являются фундаментальной инструментом для прогресса общества, душевные раздражители видны, как нынешнее правительством Аргентины — также во многих других странах Латинской Америки — сокращает финансирование научных и технологических исследований, гуманитарных и социальных наук. Я с таким же ужасом наблюдаю за политическими решениями, явно направленными на разрушение системы образования. Затем я посвящаю эту книгу аргентинскому научному и технологическому сообществу, поскольку они снова и снова демонстрировали свое величие и блеск, несмотря на неблагоприятные условия.

Эта книга слишком многим обязана Кассандре. Она оставила свое впечатление, когда поправляла мой английский, когда предлагала мне переписать целый абзац и когда пропустила запланированную речь, о которой я забыл, заканчивая раздел. По этой и по тысяче других причин эта книга целиком посвящена ей.

Содержание

Введение	1
Рекомендации	4
1 Вселенная компьютерных симуляций	7
1.1 Что такое компьютерное моделирование?	8
1.1.1 Компьютерное моделирование как метод решения проблем.	15
1.1.2 Компьютерное моделирование как описание моделей поведения	19
1.2 Виды компьютерного моделирования	24
1.2.1 Классические автоматизмы	26
1.2.2 Агентное моделирование.	29
1.2.3 Моделирование на основе уравнений	32
1.3 Заключение и замечания.	35
Использованная литература	35
2 Единичный анализ I: модели и компьютерное моделирование	41
2.1 Научные и инженерные модели	42
2.2 Компьютерное моделирование.	46
2.2.1 Составляющие компьютерного моделирования.	46
2.2.1.1 Технические характеристики	49
2.2.1.2 Алгоритмы	53
2.2.1.3 Компьютерные процессы.	66
2.3 Заключение и замечания	71
Ссылки	72
3 Единичный анализ II: лабораторные эксперименты и компьютер	
симуляции	77
3.1 Лабораторные эксперименты и компьютерное моделирование.	78
3.2 Аргумент существования	80
3.2.1 Идентичность алгоритма.	82
3.2.2 Вещество как критерий.	85
3.2.2.1 Сильная версия.	86

3.2.2.2 Слабая версия.	87
3.2.3 Модели как (все) посредники 3.3	90
3.3 Заключение и замечания	93
3.3 Ссылки	94
4 Доверяйте компьютерному моделированию.	97
4.1 Знание и понимание.	99
4.2 Укрепление доверия.	104
4.2.1 Точность, прецизионность и калибровка.	104
4.2.2 Верификация и валидация.	109
4.2.2.1 Проверка.	110
4.2.2.2 Валидация.	111
4.3 Ошибки и непрозрачность.	114
4.3.1 Ошибки.	115
4.3.1.1 Аппаратные ошибки.	115
4.3.1.2 Ошибки программного обеспечения.	118
4.3.2 Эпистемическая непрозрачность.	121
4.4 Заключение и замечания.	128
Используемая литература.	128
5 Эпистемическая функция компьютерного моделирования.	135
5.1 Лингвистическая форма понимания.	135
5.1.1 Объяснительная сила.	135
5.1.2 Инструмент прогнозирования.	143
5.1.3 Исследовательские стратегии.	149
5.2 Неязыковая форма понимания.	156
5.2.1 Визуализация.	156
5.3 Заключение и замечания.	166
Используемая литература.	167
6 Технологические парадигмы.	173
6.1 Новые парадигмы.	175
6.2 Большие данные: как заниматься наукой с большими объемами данных?	179
6.2.1 Пример больших данных.	184
6.3 Борьба за причинность: большие данные и компьютерное моделирование.	187
6.4 Заключение и замечания.	195
Используемая литература.	195
7 Этика и компьютерное моделирование.	201
7.1 Компьютерная этика, инженерная этика и этика науки.	201
7.2 Обзор этики компьютерного моделирования.	205
7.2.1 Уильямсон.	205
7.2.2 Брей.	209
7.2.3 Орен.	211
7.3 Профессиональная практика и этический кодекс.	212
7.3.1 Этический кодекс исследователей компьютерного моделирования.	214

7.3.2 Профессиональ ные обяза нност и. 217

7.4 З аключ ит ель ные замеч ания. 218

Исполь зованная лит ерат ура 219

Введение

В 2009 году разгорелись дебаты вокруг вопроса о том, являются ли компьютерные симуляции и новые философские проблемы или они представляют собой просто научную новинку. Роман Фригг и Джулиан Рейсс, два выдающихся философа, открыто разогнали дискуссии от металингвистического философского значения к степени принятия некоторой формы философской новизны компьютерного моделирования, фактически не задалась вопросом о ее возможности. Такое предположение основывалось на одной простой путанице: философы думали, что научная новизна лицензирует философскую новизну. Это привело к предупреждению о росте преувеличенных и в целом необоснованных заявлений о философской важности компьютерного моделирования. Этот рост, по мнению авторов, отразился в растущем числе философов, убежденных в том, что философия науки, питаемая компьютерным моделированием, требует совершенно новой эпистемологии, пересмотренной онтологии и новой семантики.

Важно отметить, что Фригг и Рейсс не возражают против новизны компьютерных симуляций в научной и инженерной практике или их важности для развития науки, а скорее против того, что симуляции почти неизбежно вызывают новые философские вопросы. По их собственным словам, «философские проблемы» возникающие в связи с симуляциями, не являются специфическими для симуляций, и большинство из них являются вариантами проблем, которые ранее обсуждались в других контекстах. Это не означает, что симуляции сами по себе не вызывают новых проблем. Эти специфические проблемы однако, в основном носят математический или психологический характер» (Frigg and Reiss, 2009, 595).

Я разделяю недоумение Фригг и Рейсс по этому вопросу. Трудно поверить, что новый научный метод — инструмент, механизм и т. д. — каким бы мощным он ни был, сам по себе может поставить под угрозу современную философию науки и техники до такой степени, что их необходимо будет переписать. Но это верно только в том случае, если мы примем утверждение о том, что компьютерное моделирование переписывает давно устоявшиеся дисциплины а я не думаю что это так. На мой взгляд, если мы сможем реконструировать и придать новый смысл старым философским проблемам в свете компьютерных симуляций, то мы по сути, утратим их философскую новизну.

Давайте теперь зададимся вопросом, в каком смысле компьютерное моделирование является философской новинкой? Есть два способа распаковать проблему. Либо компьютер simulation

рассуждения ставят ряд философских вопросов, которые ускользают от стандартных философских лечений, и в этом случае они могут быть добавлены нашему философскому корпусу; или они бросают вызов уже появившимся философским идеям, и в этом случае тексты к корпусу расширяются стандартные дебаты в новые области. Первый случай был предложен (Хамфрисом, 2009), в то время как второе дело обсуждалось мной (Dugan, находится на рассмотрении).

Позвольте мне теперь кратко обсудить, почему компьютерное моделирование во многих отношениях представляет собой научную и философскую новинку.

Суть аргумента Хамфриса состоит в том, что чтобы вызвать, что мы можем либо понять компьютерных симуляций, сосредоточив внимание на том, как традиционная философия освещает их исследования (например, через философию моделей или философию экспериментов) или сосредоточение исключительно на аспектах компьютерного моделирования, которые составляют, в и сами по себе, подлинные философские проблемы. Это второй способ взглянуть на вопросы о них новизне, придающей компьютеру философское значение.

симуляций.

Главное утверждение здесь состоит в том, что компьютерное моделирование может решить трудноразрешимую проблему. моделей и так им образом усиливают наши когнитивные способности. Но такое усиление идет с ценой «для все большего числа областей наук и исключительно антропоцентрической эпистемологии больше не подходит, потому что теперь существуют высшие, нечеловеческие, эпистемологические авторитеты» (Хамфрис 2009, 617). Хамфрис называет это антропоцентрическое затрудняющее положение как способ проиллюстрировать современные тенденции в науке и технике, когда компьютерное моделирование отдалает людей от центра производства знаний. По его словам, краткий обзор истории философии наук и показывает, что люди всегда были в центре производства.

знаний. Это вывод включает период логического и эмпирического позитивизма, когда высшим авторитетом были человеческие чувствования (616). Аналогичный вывод следует из анализа альтернатив эмпиризму, так как как теория Куайна. и эпистемологии Куайна.

Столкнувшись с заявлениями о философской новизне компьютерных симуляций, Хамфрис указывает, что стандартная эмпирическая точка зрения не позволила полное разделение между людьми и их способность оценивать и производить научные знания. Таким образом, становится очевидным антропоцентрическое затрудняющее положение именно это разделение: это утверждение о том, что люди и их свое привилегированное положение как высший эпистемологический авторитет¹. мнение, что научная практика развивается только потому, что достигнувшие методы обработки больших объемов информации. Обработка информации, согласно Хамфрису, является ключом к современному прогрессу науки, который может быть достигнут только в том случае, если люди будут удалены из центра эпистемологической деятельности (Хамфрис 2004, 8).

Антропоцентрическое затрудняющее положение, столь же актуальное с философской точки зрения, как и само по себе, так же приводит к четким дополняющим нововведениям, не анализируемым традиционной философией науки. Это эпистемологическая непрозрачность, временная динамика симуляций, семан

¹ Хамфрис проводит еще одно различие между научной практикой, полностью осуществляемой компьютерами — тот, который он называет авторитарным сценарием, — и тот, в котором компьютеры лишь частично выполняют научную деятельность — то есть гибридный сценарий. Однако он ограничивает свой анализ гибридный сценарий (Хамфрис 2009, 616-617).

тики, а так же практической эпистемологии/принципиальное различие. Все четыре предствляют собой новые философские проблемы возникшие в результате компьютерного моделирования; все четыре не имеют ответов в традиционных философских описаниях моделей и экспериментов; и все четыре предствляют собой вьвов философии наук.

Первая новинка — это эпистемическая непрозрачность, тема, которая в настоящее время привлекает большое внимание философов. Хотя я подробно обсуждаю этот вопрос в разделе 4.3.2, краткое упоминание основных допущений, лежащих в основе эпистемологической непрозрачности, прольет некоторый свет на новизну компьютерного моделирования. Таким образом, эпистемическая непрозрачность — это философская позиция, согласно которой ни один человек не может знать все эпистемически релевантные элементь компьютерной симуляции. Хамфрис предствляет это положение следующим образом: «Процесс существования эпистемически непрозрачен для [когнитивного агента] Когда и тогда, когда для Х невозможно, учитывая природу Х, знать все эпистемически релевантные элементь процесса. (Хамфрис 2009, 618). Облегчая уже идею другую форму, если бы когнитивный агент могостановить компьютерную симуляцию и заглянуть внутрь, он не смог бы узнать предвещающие состояния процесса, реконструировать симуляцию от точки останова и или предсказать будущие состояния, учитывая предвещающие состояния. Быть эпистемически непрозрачным означает, что из-за сложности и искорости выислительного процесса ни один когнитивный агент не может знать, что делает симуляцию эпистемически релевантным процессом.

Вторая новинка, связанная с эпистемологической непрозрачностью — это временная динамика компьютерных симуляций. Это понятие имеет два возможных толкования. Либо это относится к компьютерному времени, необходимому для решения имитационной модели, либо к временному развитию элевой системы предствленному в имитационной модели. Хорошим примером, объединяющим эти две идеи, является моделирование атмосферы имитационная модель предствляет динамику атмосферыв течение года, и для ее расчета требуется, скажем, десять дней.

Эти два новшества прекарно иллюстрируют, что типично для компьютерных симуляций, а именно присущую симуляциям сложность как таковую как в случае эпистемической непрозрачности и первой интерпретационной темпоральной динамики; и присущая элевым системам сложность, которую обычно предствляют компьютерные симуляции, как в случае второй интерпретационной динамики. Что общего между этими двумя новинками, так это то, что они оба регулируют компьютеры как эпистемологический авторитет, поскольку они способны давать надежные результаты, которые ни один человек или группа людей не могут получить сами по себе. Либо из-за того, что процесс выислений слишком сложен для понимания, либо из-за того, что элевая система слишком сложна для понимания, компьютеры остаются единственными источниками получения информации о мире.

Вторая интерпретация темпоральной динамики адаптирована к новизне семантики, которая задает вопрос о том, как теории и модели предствляют мир, теперь подстраивая к нему под компьютерный алгоритм. Таким образом, главный вопрос здесь заключается в том, как синтаксис компьютерного алгоритма отображается в мире и как данная теория фактически приводит в контакт с данными.

Наконец, различие в принципе/на практике предназначено для того, чтобы определить, что применимо на практике, а что применимо только в принципе. Для Хамфриса было бы философской фантазией утверждать, что в принципе все математическое моделирование находится в рамках компьютерного моделирования (623). Это фантазия, потому что она явно ложна,

хотя философы являли о его возможность и —следовать ель но, в принципе. Вместе с этим Хамфрис предполагает, что при подходе к компьютерным философиям должны придерживаться более приземленного подхода, ограничиваясь техническими и эмпирическими ограничениями, которые может предложить моделирование.

Моя позиция дополняет позицию Хамфриса в том смысле, что она подразумевает, как компьютерное моделирование бросает вызов устоявшимся идеям философии науки. С этой целью я начну с аргументации в пользу особого способа понимания имитационных моделей, типа моделей, лежащих в основе компьютерных симуляций. Для меня имитационная модель преобразует множество моделей в одну «супермодель». Другими словами, имитационные модели представляют собой смесь различных компьютерных моделей, каждая из которых имеет свои собственные масштабы входных параметров прототипа. В этом контексте я претендую на три новшества в философии, а именно репрезентативную абстракцию объяснение.

Что касается первого новшества, я утверждаю, что множественность моделей означает, что представление целевой системы является более целостным в том смысле, что оно охватывает все и каждую модель, реализованную имитационной моделью. Чтобы выразить ту же идею несколькими другими формами, представление имитационной модели дается не как ой-либо отдельной реализованной моделью, а комбинацией всех из них.

Проблема, которую компьютерное моделирование ставит перед понятным абстракцией и идеализацией, заключается в том, что последнее, как правило, предполагает некоторую форму пренебрежения. Таким образом, абстракция направлена на игнорирование конкретных особенностей, которыми обладает целевая система, чтобы сосредоточиться на их формальной структуре; идеализация, с другой стороны, бывает двух видов: в то время как аристотелевские идеализации состоят в «отбрасывании» свойств, которые, по нашему мнению, не имеют отношения к нашим целям, галилеевские идеализации включают преднамеренные искажения. Теперь, чтобы реализовать необходимое разнообразие моделей в единую имитационную модель, важно рассмотреть методы с помощью которых информация скрывается от пользователей, но не игнорируется моделями (Colburn and Shute 2007). Это означает, что свойства, структуры операций, отношения и т.п., присутствующие в каждой математической модели, могут быть эффективно реализованы имитационной моделью без явного упоминания того, как осуществляется такая реализация.

Наконец, научное объяснение —это освященная веками философская тема, о которой было сказано много. Однако когда дело доходит до объяснения в компьютерном моделировании, я предлагаю несколько иной взгляд на проблему, чем предлагает стандартная трактовка. Один интересный момент здесь заключается в том, что в классической идее, согласно которой объяснение связано с явлением реального мира, я возражаю против утверждения, что объяснение —это прежде всего результат компьютерного моделирования. В связи с этим возникает много новых вопросов, на которые необходимо найти ответ. Я обсуждаю научное объяснение более подробно в разделе 5.1.1.

Как я уже упоминал ранее, я считаю, что компьютерное моделирование поднимает новые вопросы для философии науки. Эта книга —живое доказательство этой веры. Но даже если мы не верим в их философскую новизну, нам все равно нужно относиться к компьютерным симуляциям как к научным новинкам с критическим и философским взглядом. С этой целью в этой книге представлены обсуждения некоторых теоретических и философских вопросов, лежащих в основе компьютерного моделирования. Скажу все это, мы можем теперь погрузиться в их страницы.

Рекомендации

Колберн, Тимоти и Гэри Шут. 2007. «Абстракция в информатике». Умы и Машин 17, вып. 2 (июнь): 169–184.

Джон, Хуан М. на рассмотрении. «Новизна компьютерного моделирования: новые вызовы для философии науки». на рассмотрении.

Фригг, Роман и Джулиан Рейсс. 2009. «Философия моделирования: горячие новинки» Проблемы или та же старая похлебка?» Синтез 169 (3): 593–613.

Хамфрис, Пол В. 2004. Расширение себя: вынужденная наука, Empiri. цизма и научного метода. Издательство Оксфордского университета.

———. 2009. «Философская новизна методов компьютерного моделирования». Синтез 169 (3): 615–626.

Глава 1

Вселенная компьютерных симуляторов

Вселенная компьютерных симуляций огромна, процветает почти во всех научных дисциплинах и все еще сопротивляется общей компьютеризации. От первых расчетов орбит Луны выполненными с помощью перфокарт, до самых последних попыток моделирования квантовых состояний, компьютерное моделирование имеет уникально короткую но очень богатую историю.

Мы можем отнестись к первому использованию машин в научных целях в Англии к концу 1920-х годов. Тогда, это было в 1928 году, когда молодой астроном и пионер в использовании машин Лесли Дж. Кэптри предсказал движение Луны на период с 1935 по 2000 год. В течение этого года Кэптри интенсивно использовал перфокарточную машину Германа Холлерита. Вычислить сумму гармонических членов при предсказании орбит Луны. Такая новаторская работа не осталась в тени, и к середине 1930-х годов она пересекла океан и попала в Колумбийский университет в Нью-Йорке. Именно там Уоллес Эккерт основал лабораторию в которой использовались вычислительные машины перфокартами (теперь созданные IBM) для выполнения расчетов, связанных с астрономическими исследованиями, включая, конечно, обширное изучение движения Луны.

Как Кэптри, так и Эккерт использовали машины для перфокарт, которые имеют несколько общих черт с современным использованием симуляций. Наиболее заметно то, что оба реализуют особый тип модели, который описывает поведение целевой системы и может быть интерпретирована и вычислена машиной. В то время как вычисления Кэптри отображали данные о движении Луны, моделирование Эккерта описывало движение планет.

Эти методы несомненно, стали пионерами и произвели революционные сдвиги в различных областях, а также во многих других областях естественных и социальных наук. Однако симуляции Кэптри и Эккерта значительно отличались от современных компьютерных симуляций. В ближайшем рассмотрении отличия можно найти везде. Внедрение схем на основе кремния, а также последующая стандартизация печатных плат внесли значительный вклад в рост вычислительной мощности. Увеличение скорости вычислений, объема памяти и выразительных возможностей языка программирования бросило вызов устоявшимся представлениям о природе вычислений и области их применения. Машины перфокартами были устарели, поскольку они медленно росли, ненадежны в своих результатах, ограничены своим программированием,

и на основе жесткой технологии (например, сменных модулей было очень мало). В фактически, основным недостатком перформанса по сравнению с современными компьютерами является то, что они являются подверженными ошибками и рудоемкими машинами, и, следовательно, надежность их результатов а также их репрезентативность трудно обосновать. Однако, возможно, самое радикальное различие между моделями Кэпери и Эккерта заключается в том, что с одной стороны и современные компьютерные симуляторы с другой, это процесс автоматизации, что характеризует последнее. В современных компьютерных симуляторах исследователи ерывают оснований на их влиянии и способность вмешиваться в процесс вычислений, и это становится более заметным по мере увеличения сложности и вычислительной мощности.

Современные компьютеры вносят поправки и во многие аспекты науки и техники. Практически с более точными вычислениями и более точными представлениями. Точность, вычислительная мощность и сокращение ошибок являются, как мы увидим, главными ключами компьютерных симуляций, отрывающих мир.

Таким образом, в свете современных компьютеров неверно утверждать, что предсказание Кэпери движения Луны решение Эккерта планетарных уравнений являются компьютерными симуляциями. Это, конечно, не означает, что они вообще не симуляторы. Но для того, чтобы приспособиться к тому, как ученые и инженеры

используют это термин сегодня, недостатокно имеет возможность вычислительной специализированной модели или для получения определенных результатов о целевой системе. Скорость, память, язык экспрессивности и способность к (пере)программированию являются главными понятиями для современного представления о компьютерном моделировании.

Что такое компьютерное моделирование? Это философский и мотивированный вопрос, на который ученые, инженеры философы находили разные ответы. Неоднородность их ответов показывает, насколько по-разному каждый исследователь понимает компьютерные симуляции, как их определения меняются от поколения к поколению следующее, и как трудно прийти к единому понятию. Это важно, однако, иметь хорошее чувство их природы. Давайте обсудим это более подробно.

1.1 Что такое компьютерное моделирование?

В новейшей философской литературе компьютерное моделирование используется как средство преодоления несовершенства и ограниченности человеческого познания. Такие несовершенства и ограничения приспособлены естественным человеческим ограничениям вычислений, обработки и классификации больших объемов данных. Пол Хамфрис, один из первых современных философов рассматривающих компьютерное моделирование с чисто философской точки зрения, воспринимают их как «инструмент усиления», то есть тот, который ускоряет то, что человек без посторонней помощи не мог бы сделать это сам (Хамфрис 2004, 110). В аналогичном смысле Маргарет Моррисон, еще одна центральная фигура в философских исследованиях компьютеров, симуляций, считает, что, хотя они являются другой формой моделирования, «учитывая различные функции симуляций [...] можно, конечно, охарактеризовать его как тип «расширенное» моделирование» (Моррисон 2009, 47).

Оба утверждения в корне верны. Компьютерное моделирование выисляет, анализирует, отображает и визуализировать данные многими способами, которые недоступны для любой группы людей.

мужчины. Сравните, например, время, необходимое человеку для выявления потенциальных антибиотиков для инфекционных заболеваний, так же как сибирская язва, с имитацией движения рибосомы в аттомарных деталях (Лаборатория 2015). Или, если хотите, сравните елкой набор вычислительных возможностей человека с суперкомпьютерами, используемыми в Высшем Вычислительном центре производственных и в Штутгарте, родина Gray XC40 Hazel Hen с пиковой производительностью 7,42 петафлопс и объемом памяти 128 Гб на узел.¹

Как указывали Хамфрис и Моррисон, существуют разные смыслы в компьютерном моделировании расширяет наши возможности. Это может быть достигнуто за счет усиления наших вычислительных навыков, как предполагает Хамфрис, или за счет улучшения нашего моделирования. способности, как предполагает Моррисон.

Естественно было бы склониться к мысли, что компьютерные симуляторы усиливают наши вычислительные возможности, а также расширить наши возможности моделирования. Однако обеспокоенный взгляд на исторический процесс показывает обратное. Для некомпьютерных авторов правильное определение должно подчеркнуть важность поиска решений модели. Другим, правильное определение сосредотачивает внимание на описании моделей поведения целевой системы. При первой интерпретации вычислительная мощность машины позволяет нам решать модели, которые в противном случае были бы анализированы и неразрешимы. В этом уважении, компьютерная симуляция «усиливает» или «улучшает» наши когнитивные способности, предоставление вычислительной мощности тому, что находится за пределами нашей когнитивной досягаемости. Понятие таким образом, компьютерное моделирование зависит от физики и компьютера и дает представление о том, что технологическое изменение расширяет границы научных и инженерных исследований. Такое утверждение также исторически обосновано. От Холлерита машины穿孔 карт к ремневому компьютеру, увеличение физических возможностей компьютеров позволило ученым и инженерам найти различные решения к разнообразным моделям. Позвольте мне назвать эту первую интерпретацию зрения на компьютерное моделирование с точки зрения решения проблем.

Второй интерпретацией акцент делается на возможности симуляций описать целевую систему. Для этого у нас есть мощный язык, который представляет, до определенных приемлемых степеней детализации, несколько уровней описания. В этом отношении, компьютерное моделирование «усиливает» или «расширяет» наши возможности моделирования, обеспечивая более точное представление целевой системы. Понимаемое таким образом понятие компьютерное моделирование адаптировано к тому, как они описывают целевую систему, и, следовательно, на используемый компьютерный язык, метамодульность, методы работы и программного обеспечения и т. д. Я называю эту вторую интерпретацию описанием шаблонов поведения с точки зрения на компьютерное моделирование.

Поскольку обе точки зрения подчеркивают разные — хотя и не обязательно несовместимые — интерпретации компьютерных симуляций как усиление, некорректно различия можно нарисовать. Начиная с того, что с точки зрения решения проблем компьютерное моделирование не является экспериментом в традиционном смысле, а скорее манипулированием

¹ Стоит отметить, что активность нашей нейронной сети в некомпьютерных случаях быстрее, чем любая другая. суперкомпьютер. Согласно отсылке к недавней публикации, японский компьютер Fujitsu K, состоящий из 82 944 процессоров, требует около 40 минут, чтобы имитировать одну секунду активности нейронной сети в реальном биологическом времени. Чтобы имитировать нейронную активность человека, исследователи создали около 1,73 миллиарда виртуальных нервных клеток, которые были связаны 10,4 триллионами виртуальных синапсов (Himeno 2013).

абстрактная и формальная структура (т.е. математические модели). На самом деле, для многих сторонников СТО точк зрения экспериментальная практика ограничивается традиционной лабораторией, поскольку к компьютерное моделирование — это скорее практика обработки чисел, более близкая к математическим логике. Описание моделей поведения точк зрения, с другой стороны позволяет намотаться к компьютерному моделированию как к эксперименту в прямом смысле. Лежащая в основе intuitionизация заключается в том, что посредством описания поведения целевой системы исследователи способны выполнять нечто очень похожее на традиционную экспериментальную практику, например, измерять значения, наблюдать за количественными обнаружение сущностей.

Такое понимание вещей имеет неотторг родство с методологией компьютерного моделирования. Как я объясню позже, с точк зрения техник и решения задач моделирование рассматривается как непосредственная реализация модели на физическом компьютере. То есть математические модели реализуются на компьютере проще. Напротив, с точк зрения описания паттернов поведения утверждается, что компьютерное моделирование имеет надлежащую методологию которая довольно сильно отличается от всего, что мы видели на арене науки и техники. Эти методологические

различия между двумя точками зрения оканчиваются центральными для более поздних споров о новизне компьютерного моделирования в научных и инженерных исследованиях.

Еще одно различие между этими двумя точками зрения заключается в причинах использования компьютерные симуляторы. В то время как точк зрения решения проблем утверждает, что использование компьютерного моделирования только ко прагматически оправдано, когда модель не может быть При описании паттернов поведения, решаемые более традиционными методами, точк зрения соглашается, что компьютерное моделирование дает ценную информацию о целевой системе, несмотря на ее аналитическую неподатливость. Отметим, что здесь так же речь идет о является эпистемологическим приоритетом одного метода над другим. Если использование компьютерного моделирования оправдано только тогда, когда модель не может быть решена аналитически, Сторонники точк зрения на решение проблем утверждают, что аналитическое метод эпистемически превосходят выислительные. Это также приводит к обсуждению на месте компьютерного моделирования в научной и инженерной повестке дня. В частности, это значительное снижает надежность компьютерного моделирования для исследования на неизведанной территории. У нас будет больше, что обыскавать об этом в течение этого книга.²

Наконец, решение проблем компьютерного моделирования может сильно различаться в зависимости от принятой точк зрения. С точк зрения решения проблем легкие вопросы связанные с результатом моделирования (например, точность, вычислимость, предсказимость и т.д.) может быть решена техническими причинами (т.е. за счет увеличения скорости и памяти, изменения базовой архитектуры и т.д.). Вместо этого для сторонника описания моделей поведения, одни и те же вопросы рассматриваются совершенно по-разному. К неправильным результатам, например, приближаются, анализируя практические соображения в уровень проектирования, например, новые спецификации для целевой системы альтернативные оценки экспертов знаний, новые языки программирования и т.д. В том же духе неправильные результаты могут быть связаны с искажением целевой системы в де

² Многие философы пытались понять природу компьютерного моделирования. Ч то у меня есть предложенное выше является лишь одной из возможных характеристик. Для получения дополнительной информации читатель может обратиться к следующему авторам (Winsberg 2010; Vallverdu 2014; Morrison 2015; Winsberg 2015; Saam 2016).

стадии знака а, спецификации и программирования (см. раздел 2.2) или искажения на этапе вычислений (например, ошибки во время вычислений — см. раздел 4.3).

Общее понимание исследователя, а также решение этих вопросов существенно меняются в зависимости от принятой точки зрения.

Часто иллюстрируют некорректные из сделанных до сих пор выводов, возьмем простую компьютерную симуляцию на основе уравнений динамики движения спутника по орбите вокруг планет в условиях приливного стресса. Часто моделируют такую динамику, исследователи обычно начинают с математической модели элементарной системы Хорошая модель представлена классической ньютоновской механикой, описанной М. М. Вулфсоном и Г. Дж. Пертом (Woolfson and Pert, 1999b).

Для планет с массой M и спутника с массой m ($M \gg m$) на орбите с большой полуосью a и эксцентриситетом e полная энергия равна

$$E = - \frac{GMm}{2a} \quad (1.1)$$

а угловой момент равен

$$H = \{GMa(1 - e^2)\} m \quad (1.2)$$

Если E должно уменьшаться, то a должно стать меньше; но если H постоянна, то e должно стать меньше, то есть орбита должна закружиться. Величина, которую описывает постоянная, это $a(1 - e^2)$, полуширокая прямая кривая, как показано на рисунке 1.1. Планета $a(1 - e)$, описываемая точечной массой P , а спутник — распределением трех масс, каждая $m/3$, в положениях S_1 , S_2 и S_3 , образующих равнобедренный треугольник в свободном состоянии. Грузы соединены как показано, пружинами, каждая из которых имеет ненагруженную длину l и одинаковую жесткость k (рисунк 1.2). Таким образом, пружина, постоянная жесткость k и длина l , равную

$$F = k(l - l_0) \quad (1.3)$$

Так же важно ввести в систему диссипативный элемент, сделав силу зависимой от скорости и расширения или сжатия пружины заданным следующим силовым законом:

$$F = k(l - l_0) - c \frac{dl}{dt} \quad (1.4)$$

где сила действует внутрь на двух концах. Это второй член в уравнении 1.4, который дает моделирование гистерезисных потерь в спутнике (18-19).

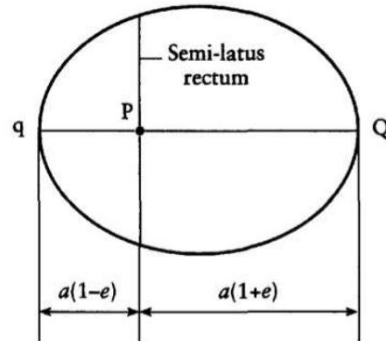


Рис. 1.1 Эллиптическая орбита спутника от носителя планеты в одном фокусе. Точки q и Q — самая близкая и самая дальняя точки от планеты соответственно. (Вулфсон и Перт 1999b, 19)

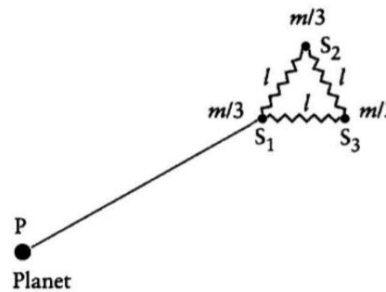


Рис. 1.2 Спутник описывается тремя массами $m/3$ каждая, соединенными пружинами одинаковой недеформированной длины l . (Вулфсон и Перт 1999b, 19)

Это модель для компьютерного моделирования спутника на орбите вокруг планеты подверженной приливным нагрузкам. Спутник периодический и выгибается вдоль радиус-вектора при условии, что орбита не является круговой. Учитывая, что спутник не идеальное эластичное тело, будут возникать эффекты гистерезиса, и часть механической энергии будет преобразована в тепло и излучена. Тем не менее, для всех целей моделирование полностью определяет целевую систему.

Уравнения с 1.1 по 1.4 являются общим описанием целевой системы. Поскольку у нас намерение состоит в том, чтобы смоделировать конкретное явление реального мира с конкретными характеристиками, его необходимо выделить, задав значения для параметров моделирования. В случае Вулфсона и Перта они используют следующий набор значений параметров (Вулфсон и Перт, 1999b, 20):

1. количество тел $n = 4$

1.1 Что такое компьютерное моделирование?

13

2. масса первого тела (планеты) = 2×10^{27} кг
3. масса спутника = 3×10^{22} кг
4. начальная шаг по времени = 10 с
5. общее время моделирования = 125000 с
6. тело, выбранное в качестве начальной координат = 17 допуск = 100 м
8. начальное расстояние до спутника = 1×10^8 м
9. нерастянутая длина пружины = 1×10^6 м
10. начальная эксцентриситет = 0,6

Эти параметры даны компьютерной симуляцией спутника размером с Тритон, самого большого спутника Нептуна, вращающегося вокруг планеты с массой, близкой к массе Юпитера, включая, конечно, специфическое приливное напряжение, эффект гистерезиса и так далее. Если параметры были изменены, то, естественно, моделируется другое явление, но все же взаимодействие двух тел с использованием ньютоновской механики.

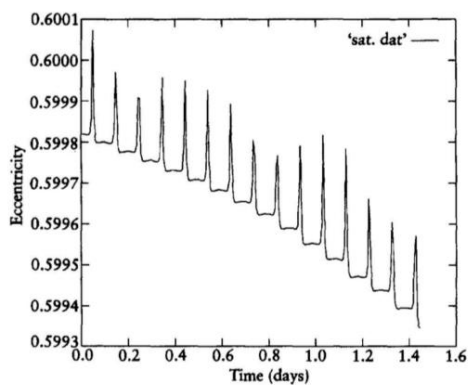


Рис. 1.3 Эксцентриситет орбиты как функция времени (Вулфсон и Перт, 1999b, 20)

Вот фрагмент кода, соответствующий приведенным выше математическим моделям, как запрограммировано на FORTRAN Вулфсоном и Пертом.³

```

ПРОГРАММА NBODY
[... ]
С ЗНАЧЕНИЯ ИЕ ВЪЕЗЖАЮТ СЯ КАЖДЫЕ 100 ШАГОВ
С ИХ ХРАНИТСЯ ВМЕСТЕ С ВРЕМЕНЕМ
С
      IST=IST+1,
      ЕСЛИ((IST/100)*100.NE.IST)/ПЕРЕХОД К 50 IG=IST/100,
      ЕСЛИ(IG.GT.1000)/ПЕРЕХОД К 50
С
С ПЕРВЫЙ НАХОДИТ Е ПОЛОЖЕНИЕ ИСКРОСТЫ ЦЕНТРА МАСС
С СПУТНИКА.

```

³ Полный код см. (Вулфсон и Перт, 1999а).

```
C
      DO 1 K=1,3
      POS(K)=0
      VEL(K)=0
      DO 2 J=2,NB
      POS(K)=POS(K)+X(J,K)
      VEL(K)=VEL(K)+V(J,K)
      2 PRD,OTKJF B
      POS(K)=POS(K)/(NB+1.0)
      VEL(K)=VEL(K)/(NB+1.0)
      1 PRD,OTKJF B

C
C РАСЧЕТ ОРБИТАЛЬНОГО РАССТОЯНИЯ
C
      R=SQRT(POS(1)**2+POS(2)**2+POS(3)**2)

C
C ВЫЧИСЛИТЬ V**2
C
      V2=VEL(1)**2+VEL(2)**2+VEL(3)**2

C
C РАСЧЕТ ВНОУРЕННЕЙ ЭНЕРГИИ
C
      TOTM = CM(1) + CM(2) + CM(3) + CM(4)
      EN=G*TOTM/R+0.5*V2

[...]
```

```
      ЗАПУСК ПРОГРАММЫ
      PAZMER X(20,3),V(20,3),STORE(1000),TSTORE(1000),
      +BOCCT ANOBI B (1000),XTEMP(2,20,3),VTEMP(2,20,3),CM(20),XT(20,3),
      +VT(20,3),DEL V(20,3)

[...]
```

```
      ПРОЧИТАТЬ (5,*)НОРИГ.

[...]
```

```
C
C НАЧАЛЬНЫЕ СКОРОСТИ И РАСЧЕТ НАДЛЯ ТРЕХ КОМПОНЕНТОВ
C СЛУЖИТЬ ТАКИМ ОБРАЗОМ, ЧТО УГЛОВАЯ СКОРОСТЬ ВРАЩЕНИЯ СЛУЖИТЬ
C ПРИМЕРНО РАВНА ОРБИТАЛЬНОЙ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ
C
      VV=SQRT(G*(CM(1)+CM(2)+CM(3)+CM(4))*(1-ECC)/D)
      V(2,2)=VV*DIS2/
      DV(3,2)=VV*DIS3*COS(DGTGT)/D [...]
```

```
ВОЗВРАЩАЕТСЯ
К ОЧЕТУ
```

Как обсуждалось ранее, одной из характеристик точк и зрения на решение задач является то, что описанная выше математическая модель может быть непосредственно реализована на компьютере. То есть приведенный здесь код полностью соответствует математической модели. В принципе ничего существенного не добавляется и ничего релевантного не удаляется. Таким образом, единственная причина использования компьютеров — найти набор решений модели более быстрым и дешевым способом. Описание паттернов поведения с точк и зрения, с другой стороны, призывает существование процесса реализаций модели как компьютерной симуляции, который включает в себя превращение математической модели в модель совершенно другого типа.

Как видите, обе позиции имеют под собой веские основания. С точк и зрения решения проблем правильно утверждается, что компьютерное моделирование должно отражать реализованную математическую модель, в противном случае возникнут проблемы представления, надежности и т.п. С другой стороны описание моделей поведения с точк и зрения более однозначно отражает научную и инженерную практику.

Прежде чем продолжить, самое время ввести новую терминологию. Назовем математическими моделями те модели, которые используются в научных и инженерных областях и используются математическим языком. Примерами этого являются приведенные выше уравнения. Назовем «имитационными моделями» те модели, которые реализованы на компьютере, т.е.

компьютерное моделирование, в котором используется язык программирования.⁴ Пример имитационной модели — это код, показанный выше.

Начав эту главу, проводя различие между двумя точками зрения на компьютер. С одной стороны точка зрения на решение проблем, которая подчеркивает вычислительную сторону моделирования; с другой стороны описание закономерностей поведения системы точки зрения, которая делает упор на репрезентативность целевых систем. Как упоминалось ранее, точка зрения решения проблем не игнорирует представление целевой системы равно как и описание паттернов поведения. не рассматривают вычисления как основную проблему компьютерного моделирования. Ни одна из точек зрения не отражает позицию «все или ничего» — хорошим примером этого является данное определение. Томасом Х. Нейлором, Дональдом С. Бердиги и У. Эрлом Сассером, где они защищают модели поведения на страницах 1361 книги (Naylor et al. 1967), а также подписывается на точку зрения на решение проблем позже на страницах 1319. Разница между этими двумя точками зрения лежит, опять же, в основных чертах, выделенных кажущейся записью. Посмотрим, сможем ли мы сделать это различие более ясным.⁵

1.1.1 Компьютерное моделирование как метод решения проблем

С точки зрения решения проблем компьютерное моделирование обычно демонстрирует некоторые из следующих особенностей. Во-первых, моделирование применяется для случаев, когда цель системы слишком сложна, чтобы ее можно было анализировать отдельно — называемое характеристической сложностью. Во-вторых, моделирование полезно в тех случаях, когда лежащая в основе математическая модель не может быть решена аналитически — называемое свойством неаналитичности. В-третьих, математический модели напрямую реализуются на компьютере — называемое прямой реализацией особенностью. Особенность сложности и неаналитичности подчеркивают наши человеческие ограничения для анализа определенных видов математических моделей, в то же время расширяя моделирование вычислительной мощью и как достоинство. Особенность прямой реализации сопровождается этой идеей, утверждая, что не существует промежуточной методологии между математической моделью и физическим компьютером. Скорее, уравнения из математической модели реализуются — или решаются — проще на физическом компьютере в виде компьютерной симуляции.

Ранняя литература о точках зрения на решение проблем представляет довольно единообразную картину. В основном это профессиональные философы ученье, а инженеры видят в вычислительной мощью и симуляцией ключ, отрывающий их

⁴

Строго говоря, имитационная модель представляет собой более сложную структуру, состоящую из спецификаций, закодированных на языке программирования в виде алгоритма и, наконец, реализованной в виде компьютерного процесса. Хотя одна и та же спецификация может быть написана на разных языках программирования и реализована на разных компьютерных архитектурах, все они считаются одинаковыми. имитационная модель. Понимаемый таким образом язык программирования сам по себе не определяет ронятие «имитационная модель». Более подробно рассмотрим эти вопросы в главе 2.

Интересное введение в историю информатики можно найти в работе (Черуцци, 1998; Де Мол и Примьеро, 2014, 2015) и особенно при компьютерном моделировании (Орен, 2011b, 2011a).

эпистемическая сила. Хорошим первым примером является определение, данное Клодом Макмилланом и Ричардом Гонсалесом в 1965 году. В своей работе авторы указывают четыре характерных момента моделирования, а именно:

1. Моделирование — это метод решения проблем.
2. Это экспериментальный метод.
3. Применение имитационного моделирования показано при решении задач (а) проектирования систем (б) системный анализ.
4. К моделированию прибегают, когда рассматриваемые системы могут быть проанализированы используя прямые или формальные аналитические методы (Макмиллан и Гонсалес, 1965 г.)

Это определение, насколько мне удалось найти, является первым, которое откровенно понимает компьютерное моделирование как метод решения проблем. Это не только потому, что авторы прямо заявляют об этом в своем первом пункте, но поскольку определение принимает два из трех стандартных критериев. Пункт 4 явно говорит об использовании симуляций для поиска решений неразрешимых математических моделей, в то время как пункт 3 предлагает принятие моделирования для проектирования систем системы анализа, поскольку они слишком сложны для самостоятельного анализа (т.е. сложность особенности).

Год спустя Дэниэль Тейхроу и Джон Фрэнсис Лкбин представили собственное определение. Интересно, что это определение делает три особенности и критерия более важными. Видно, что любое другое определение в литературе. Авторы иначе с определения, то, что они называют «проблемами моделирования», то есть проблемы, которые решаются с помощью методов моделирования, — далее мы обсудим, что это за методы. Моделирование Проблема в основном представляет собой математическую задачу с многими переменными, параметрами и функциями, которые не могут быть обработаны аналитическими (т.е. признаками сложности) и, таким образом, компьютерное моделирование — единственный доступный исследовательский ресурс (т.е. функция неаналитическая). Третья особенность, непосредственная реализация математической модели, можно найти в нескольких местах статьи. На самом деле авторы выделяют два вида моделей, а именно моделей непрерывного изменения (т.е. тех, которые используют уравнения в частных производных или обыкновенные дифференциальные уравнения) и модели дискретного изменения (т.е. те модели, в которых изменения состояния системы носят дискретный характер) (Teichrow и Лкбин 1966, 724). Для авторов оба вида моделей реализованы непосредственно как компьютерное моделирование. По собственным словам авторов,

Проблемы моделирования характеризуются тем, что они математически неразрешимы и не поддаются решению аналитическими методами. Проблемы обычно связаны с многими переменными, многими параметрами, функциями, поведением которых математически некорректно, и случайные величины. Таким образом, симуляция является крайней мерой. Тем не менее, сейчас много усилий уделяется «компьютерному моделированию», потому что это метод, который дает ответы несмотря на его трудность и затраты необходимого времени. (724)

Здесь следует выделить еще одно интересное утверждение. Заметим, что авторы разъясняют отношение сторонних критериев к компьютерному моделированию: это крайняя мера. Другими словами, использование

компьютерное моделирование оправдано только тогда, когда аналитическое решение недоступно. Но это скорее эпистемологическое убеждение против компьютерных симуляций, чем эмпирически обоснованная истина. Недавние работы, сделанные философами, показывают, что во многих случаях исследования перед компьютерное моделирование аналитическим методом. Это, конечно, для очевидных случаев, когда целевая система неразрешима – как Тейхров и Лэбин правильно указат ь – и где аналитическое решение недоступно. Винсент Ардуэль и Жюли Жебейл утверждают, что компьютерное моделирование может быть даже лучше, чем аналитическое решение для количественных прогнозов. Согласно этим авторам, «некоторые аналитические решения делают численные приложения трудными или невозможными (...) аналитические решения иногда слишком сложны от природы» (поставленная проблема ...) [и] аналитическое решение предлагает общий подход для решения таких уравнений, как [компьютерное моделирование]»⁷ (Ardorel and Jebeille 2017, 203).

Теперь становится очевидным, что присутствие и в современной литературе. В значительной степени возмущаемое определение, которое, несмотря на изменение авторского разума как имитация образумудалось стать стандартным в литературе – это Хамфрис. рабочее определение: «Компьютерное моделирование — это любой реализуемый компьютером метод для изучения свойств математических моделей, где аналитическое решение недоступно» (Хамфрис 1990, 501).

Здесь Хамфрис дает нам две особенности компьютерного моделирования как среднего решения проблем. То есть имитационное моделирование — это математическая модель, реализованная на компьютере, и они используются, когда аналитическое решение недоступно. Пока что Хамфрис является классическим сторонником метода решения проблем. Однако более внимательное изучение определения показывает, что Хамфриса беспокоит и природа вычислений. Вот почему.

Ранее упоминал, что Нейлор Бердик и Сассерут утверждали, что компьютерное моделирование — это численные методы, реализованные на компьютере. Вместе с этим Хамфрис рассматривает компьютерное моделирование как методы реализуемые компьютером. Это различие не является ненужным, поскольку оно указывает на природу вычислительной модели. На самом деле Хамфрис настаивает на разделении трех различных понятий: числовой математик и, числовых методов и численного анализа. Численная математика — это раздел математики, связанный с получением числовых значений решений заданной математической задачи. Численные методы с другой стороны представляют собой числовую математику, связанную с поиском приближенного решения модели. Наконец, численный анализ — это теоретический анализ численных методов и вычислительные решения (502). Численные методы сами по себе не могут быть напрямую связаны с компьютерным моделированием. Должны быть включены как минимум две дополнительные функции. Во-первых, численные методы должны быть применены к конкретной научной задаче. Это важно, потому что реализуемая модель — это некая модель, а конкретный вид (т.е. научные и инженерные модели). Таким образом, нет места для смешивания компьютерное моделирование, проводимое в научной обстановке с компьютерным моделированием осуществляется в художественных целях. Во-вторых, метод должен быть реализован на реальном

⁷ Авторы охотно включают «численные методы» с «компьютерным моделированием» (Ardorel and Jebeille). 2017, 202). Как я покажу далее, эти два понятия должны оставаться отдельными. Однако это не представляет собой возмущение против их основного утверждения.

компьютера, а также вычисляются в режиме реального времени. Эта вторая особенность гарантирует, что модель пригодна для вычислений и соответствует минимальным стандартам научных исследований (например, что вычисление завершается в разумные сроки, что результаты точно определены в определенном диапазоне и т. д.).

Несмотря на то, что это определение было предложено только в качестве рабочего определения, Хамфрис получил ожесточенные возражения, которые фактически вынудили его изменить свою первоначальную позицию. Главным критиком был Стефан Хартманн, который возражал, что определение Хамфриса упускает из виду динамическую природу компьютерного моделирования. Затем Хартманн предложил свое собственное определение:

Моделирование тесно связано с динамическими моделями. Более конкретно, симуляция получается, когда решаются уравнения, лежащие в основе динамической модели. Эта модель предназначена для имитации временной эволюции реальной системы. Другими словами, симуляция имитирует один процесс другим процессом. В этом определении термин «процесс» относится к любому объекту или системе, состояние которой изменяется во времени. Если симуляция выполняется на компьютере, она называется компьютерной симуляцией (Hartmann 1996, 83 — курсив в оригинале).

Упрощая это определение, мы могли бы сказать, что компьютерное моделирование состоит из нахождения набора решений динамической модели с использованием физического компьютера. Выделим несколько интересных предположений. Во-первых, динамическая модель понимается как не имеющая отличий от математической модели. Понятная аксиоматическая модель, используя маятник М. М. Вольфсона и Г. Дж. Пертом для моделирования динамики спутника, вращающегося вокруг планет в условиях приливного стресса, представляет собой модель, реализованную на физическом компьютере. Во-вторых, Хартманн не слишком беспокоится, как имитация используется для решения динамической модели. Бумага и карандаш численные методы компьютерные методы могут использоваться для решения динамической модели. Это опасение связано с тем, что одна и та же динамическая модель решается как человеком, так и компьютером.

Подобно Нейлору, Бэрдик и Сассеру, такое предположение поднимает вопросы природы вычислений.

Интересно отметить, что определение Хартмана было тесно связано философским сообществом. В том же году Джерри Бэнкс, Джон Карсон и Барри Нельсон представили определение, похожее на определение Хартмана, в котором также подчеркивалась идея динамики и процесса во времени и представления как имитации. Они определяют его следующим образом: «Моделирование — это имитация работы реального процесса или системы во времени. Моделирование, выполняемое вручную или на компьютере, включает в себя создание искусственной истории системы и наблюдение за этой искусственной историей, чтобы сделать вывод о рабочих характеристиках реальной системы» (Banks et al. 2010, 3). Франческо Гуала также следует за Хартманном в различении статических и динамических моделей, эволюции системы во времени и использовании симуляций для математического решения реализованной модели (Гуала, 2002). Совсем недавно Венди Паркер прямо упомянула об этом, охарактеризовав симуляцию как «упорядоченную во времени последовательность состояний, которая служит представлением некоторой другой упорядоченной во времени последовательности состояний» (Parker 2009, 486).

Теперь, несмотря на разногласия между Хамфрисом и Хартманном, они согласны по нескольким вопросам. На самом деле, оба рассматривают компьютерное моделирование как высокопроизводительное вычислительное оборудование, способное улучшить наши аналитические способности для решения математических моделей, которые иначе невозможно решить. После первоначальных возражений Хартманна Хамфрис предложил новое определение, на этот раз основанное на понятии вычислительной техники.

шаблон. Я буду обсуждать шаблоны в следующем разделе, так как считая что эта новая концепция компьютерного моделирования лучше подходит для описания шаблонов.

точка зрения поведения.

Поучительное резюме можно найти в работах Романа Фригга и Джулиана Рейсса.

По мнению авторов, в современной литературе понятие компьютерного моделирования определяется в двух смыслах. В узком смысле там, где «симуляция»

относится к использованию компьютера для решения уравнения, которое мы можем решить аналитически, или, в более общем плане, для изучения математических свойств уравнений, где аналитическое решение недоступно. Существует также широкий смысл, когда термин «моделирование» относится к весь процесс построения, использования и обоснования модели, который включает в себя аналитический и компьютерный (Frigg and Reiss, 2009, 596). Для меня оба чувствительны может быть включены как часть методов решения проблем с точки зрения компьютера симуляции.

Обе категории, безусловно, достойны похвалы просветления. Оба в целом охватывают многие смыслы в компьютерной философии придерживающиеся точки зрения решения проблем, определяют понятие компьютерного моделирования. В то время как узкий смысл фокусируется на эвристической возможности компьютерного моделирования, в широком смысле подчеркивается методологический, эпистемологический и прагматический аспекты компьютерного моделирования как средства решения проблем. Давайте теперь перейдем к другому способу осмысления компьютерного моделирования.

1.1.2 Компьютерное моделирование как описание моделей поведения

Взгляд на компьютерное моделирование как на метод решения проблем продолжает развиваться с рассматривать симуляцию как описание паттернов поведения. С этой точки зрения компьютерное моделирование в первую очередь связано с описанием поведения мишени.

системы в которой они разбиваются или развертываются. Как упоминалось ранее, это не означает, что вынужденная мощность симуляций преуменьшается в каком-либо смысле. Компьютерное моделирование как средство решения проблем правильно поняло это в том смысле, что скорость, память, и роль являются ключевыми факторами, которые подчеркивают новизну моделирования в научных исследованиях и инженерной практике. Однако с этой точки зрения вынужденная мощность симуляций считается функцией второго уровня. В этом смысле вместо того, что обнаруживать эпистемологическую ценность компьютерных симуляций в их способности решать математическая модель, их ценность заключается в описании паттернов поведения целевых систем.

Теперь, что такое шаблоны? Я считаю их описаниями, отражающими структуры атрибутов производительности и общее поведение целевой системы в конкретном ситуационном языке. Более конкретно, эти структуры атрибутов интерпретируются как понятия, используемые в науке (например, H₂O, масса и т. д.), причинно-следственные связи (например, столкновение двух бильярдных шаров), существенные логические необходимости (например, что никакое обогащенное урановая сфера имеет массу более 100 000 кг), законы принципы

⁸ Здесь необходимо пояснение. Компьютер не имеет технологических недостатков для имитации обогащенного урановый шар массой более 100 000 кг. Скорее, ограничения, которые мы обнаруживаем в компьютерах, связаны с их собственными физическими ограничениями и ограничениями, установленными теориями

константы природы Кирорч е говоря, паттерны—это описания целевой системы используя научный и инженерный словарь. Естественно, эти паттерны также зависят от экспертных знаний, «торговых уловок», прошлого опыта и индивидуальных, социальных и институциональных предпочтений. В этом смысле, с этой точки зрения, компьютерное моделирование представляет собой конгломерат понятий, формул и интерпретаций, облегчающих описание моделей поведения целевой системы.

Разница в концептуализации компьютерных симуляций так изображением, в отличие от точки зрения решения проблем, заключается в том, что физический характер и компьютерная боль не являются основной эпистемологической ценностью компьютерных симуляций. Скорее, это их способность описывать модели поведения целевой системы оторая несет бремя. Подражая предыдущему разделу, давайте начнем с некоторых ранних определений.

В 1960 году Мартин Шубик определил симуляционный процесс следующим образом:

Моделирование систем или организмов — это работа модели или симулятора, представляющего систему или организм (...). Работа модели может быть изучена, и на ее основе можно сделать вывод о свойствах, касающихся поведения реальной системы или ее подсистемы (Шубик 1960, 909)

Шубик выделяет две основные черты лежащие в основе этой точки зрения. Это есть моделирование представляет собой представление или описание поведения целевой системы и что свойства такой целевой системы могут быть выведены. Первая особенность является центральным для этой точки зрения в той мере, в какой она дает ей название. Подчеркивание репрезентативной способности симуляций в отличие от математических моделей предполагает, что они легче отличаются. Как мы увидим позже, эта разница заключается в количестве преобразований, к которым подвергается математическая модель, или, скорее, ряд математических моделей, что обычно получают компьютерную симуляцию. Вторая особенность, с другой стороны, подчеркивает использование компьютерных симуляций в качестве незаменимых для понимания чего-либо о целевой системе. Это означает, что исследователи способны делать выводы о свойствах целевой системы на основе результатов моделирования.

Обе функции, как мы должны заметить, отсутствуют в точках зрения на решение проблем. Однако обратное неверно. Как упоминалось ранее, такое понимание компьютерных симуляций не отменяет некоторые утверждения с точки зрения методов решения проблем. В частности, вынужденная мощность сложных моделей является характеристикой компьютерного моделирования, обычно присутствующей во всех определениях. Например, Шубик говорит: «Модель поддается манипуляциям, к которым были бы невозможны слишком дороги или невыполнимы для того, что бы произвести их над сущностью которую она изображает» (909). Интересно отметить, что по мере того, как мы продвигаемся вперед во времени, опасения по поводу вынужденной мощности, как правило, исчезают.

Почти два десятилетия спустя, в 1979 г., Г. Бергвист сформулировал следующее определение компьютерного моделирования:

Моделирование — это метод представления динамической системы моделью с целью получения информации о базовой системе. Если поведение модели правильно соответствует

высследование. Теперь, учитывая, что исследователи хотят смоделировать реальную систему, они должны описать ее как можно точнее. Если эта целевая система является естественной системой, такой как урановая сфера, то точность диктует, что симуляция ограничена массой сферы.

соответствующие характеристики и поведения лежащей в основе системы мы можем сделать вывод о системе из экспериментов с моделью, так или иначе, избегая себя от каких-либо катастроф.

(Бертвилл 1979, 1)

Подобно тому, что представили Тейхроу и Лабинс точкой зрения решения проблем, Бертвилл также разъясняет основные черты описания паттернов поведения с точки зрения. Из приведенного выше определения ясно, что центральное место в компьютерном моделировании занимает представление целевой системы при правильном представлении исследователи могут сделать вывод о той же целевой системе. Отметим также, что, в отличие от Тейхроу и Лабина, которые считали компьютерное моделирование последним ресурсом, Бертвилл считает его важнейшим элементом научных исследований, помогающим предотвратить катастрофы. Противоположное отношение к компьютерному моделированию не может найти двух лучших представителей.

Другое определение, о котором стоит упомянуть, принадлежит Роберту Э. Шеннону, промышленному инженеру, который много работал над разъяснением природы компьютерного моделирования (см. его работы Шеннон (1975) и (Shannon, 1978)).

Мы определим имитационное моделирование как процесс проектирования модели реальной системы проведения экспериментов с этой моделью с целью понимания поведения системы/или оценок и различных стратегий работы системы. Так или иначе, очень важно, что модель была разработана так или иначе, что бы поведение модели имитировало поведение реакции реальной системы события, происходящие во времени. (Шеннон 1998, 7)

Мы снова видим, как Шеннон подчеркивает важность представления целевой системы, а также способность делать выводы/оценивать наши знания на основе компьютерного моделирования. Пожалуй, самым выдающимся аспектом определения Шеннона является заметный акцент на методологию компьютерного моделирования. Для него очень важно, чтобы модель в моделировании имитировала поведение целевой системы. Недостаточное, как это обнаруживается у других авторов, чтобы модель правильно описывала соответствующее поведение целевой системы. Следует уделять внимание способу моделирования, потому что именно здесь мы найдем основания — и проблемы — для выводов о целевой системе.

Эти последние идеи более или менее успешно продолжают следовать лигатуре, связанной с этой точкой зрения. Хорошим примером является книга Пола Хамфриса 2004 года, в которой он подробно описывает методологию компьютерного моделирования. Эрик Уинсберг несколько лет спустя также принял интересную попытку похвалить, как или образом дизайнерские решения влияют на эпистемологическое оценивание. По словам Уинсберга, нынешние и прошлые проектные решения основывают нашу уверенность на результатах компьютерного моделирования. Давайте теперь обсудим их позиции более подробно⁹.

Ранее я упоминал, что в 1990 году Хамфрис разработал рабочее определение компьютерного моделирования. Несмотря на то, что он представил его только как рабочее определение, он получил резкие возражения, которые фактически вынудили его изменить свое первоначальное определение.

⁹ Есть много других современных авторов, которые заслуживают нашего внимания. Наиболее заметной является работа Клауса Бейсбарта, который использует компьютерное моделирование в качестве аргумента (Beisbart 2012). То есть логическая структура, включающая в себя послышку и вывод. Еще один интересный пример — Равад Эль-Скафи и Сирил Имберг (Эль-Скафи и Имберг, 2013), которые рассматривают компьютерное моделирование как «сценарии разветвления». К сожалению, объем не позволяет мне более подробно обсуждать этих авторов.

степень.

точка зрения на компьютерное моделирование. Одним из главных критиков был Стефан Хартманн, который указал, что его рабочее определение упускает из виду динамическую природу компьютерной симуляции. После первоначальных возражений Хартмана Хамфрис предложил новое определение, на этот раз основанное на понятной вычислительной модели.

Согласно его новой характеристике, компьютерное моделирование опирается на лежащую в основе вычислительную модель, которая включает представления целевой системы. Сначала. На первый взгляд, это определение очень похоже на стандартные определения, обсуждавшиеся до сих пор. Однако довольно ясно в деталях. Чтобы в полной мере оценить очередь Хамфриса, мы должны обратиться к его определению вычислительной модели, понимаемой как шестерка:

<расчетный шаблон, допущения построения, корректный набор интерпретаций, первоначальное обоснование, выходное представление>¹⁰

Вычислительный шаблон, по сути, является результатом вычислительного управляемого теоретического шаблон. Теоретический шаблон, в свою очередь, является своего рода очень общим математическим описанием, которое можно найти в научной работе. Сюда входят дифференциальные уравнения в частных производных, такие как эллиптические (например, уравнение Лапласа), параболические (например, уравнение диффузии), гиперболические (например, волновое уравнение) и обыкновенные дифференциальные уравнения, средние и прочие. Яркий пример теоретического шаблона является вращающимся Ньютоном, поскольку он описывает очень общее ограничение на соотношение между силами, массой и ускорением. Основная характеристика теоретического шаблонов заключается в том, что исследователи могут определять их различными способами. Для Например, силовая функция в вращающемся Ньютоном может быть гравитационной силой, электрической силой, магнитной силой или любой другой вид силы.

Теперь расчетный шаблон нельзя просто выбрать из теоретического шаблона. Это также важно, которое определяет точку зрения на решение проблемы, но не описание моделей поведения точки зрения. Для последней точка зрения существует представление собой, охватывает одолюющуюся посредником между вычислительной моделью и теоретической моделью, которую необходимо изучить. Конкретно процесс построения шаблона включает в себя ряд идеализаций, абстракций, ограничений и аппроксимаций целевой системы, которые должны учитывать исследователи. Более того, в какой-то момент вычислительный шаблон необходимо сверить с данными. Что происходит, когда он не соответствует этим данным? Ответ заключается в том, что исследователи имеют ряд хороших рекомендаций себя методов исправления вычислительного шаблона для обеспечения точных результатов. Согласно Хамфрису, построение как предположения и набор исправлений — компоненты дварии шестерки — выполняют именно эти роли. Без них вычислительный шаблон может даже не вычислимым.

Теперь, чтобы получить точное представление о целевой системе, переменным функциям и в вычислительном шаблоне необходимо задать интерпретацию. Например, при первом вводе уравнения диффузии интерпретация функции, представляющей градиент температуры идеально изолированном цилиндрическом проводнике, является центральной для решения о том, соответствует ли диффузия

¹⁰ Подробнее см. (Хамфрис 2004, 102–103).

Это правильно отражает тот факт, что в данном метаматематическом смысле (Хамфрис 2004, 80). Интерпретация исследований элементных шаблонов является частью обоснования принятой определенной системы уравнений, значений и функций. Выявление шаблонов говорит Хамфрис, являются «не просто предположениями, а объектами, для которых достаточное обоснование для каждой идеализации, приближения и физического принципа, и эти обоснования переносятся на использование шаблона». (81).

Наконец, выходящее представление, то есть визуализация выявленных модели, бывает разных видов. Это может быть массив данных, функций, матриц и, что более важно, с точки зрения понимания, динамическое представление, такое как видео или интерактивные визуализации. Как мы подробно обсудим в разделе 5.2.1, визуализации играют фундаментальную роль в нашей эпистемологической выгоде с помощью компьютерного моделирования и, таким образом, в их общем успехе в качестве новых методов научных и инженерных исследований.

Эрик Уинсберг — второй философ в нашем списке. По его словам, есть две основные характеристики, которые существенно отличают компьютерное моделирование от других форм расчета. Во-первых, много усилий уходит на создание модели, которая служит основой для компьютерного моделирования, а также же на определение того, какие результаты моделирования надежны, а какие нет. Во-вторых, при компьютерном моделировании используются различные приемлемые методы облегчения вывода из результатов (Winsberg 2010). Как обсуждалось ранее в этом разделе, эти две характеристики типичны для описания паттернов поведения.

Кроме того, Уинсберг правильно указывает, что построение компьютерных симуляций управляет, но не определяется теорией. Это означает, что, хотя компьютерное моделирование опирается на теоретические основы, оно обычно включает в себя элементы, которые не имеют прямого отношения к теориям и не являются их частью. Примером этого являются «физические идеализации», т. е. противоречащие действительности и принципам, которые включаются в имитационную модель с целью повышения надежности и достоверности ее результатов. Как мы видели ранее, Хамфрис сделал то же самое с допущениями построения и набором поправок. Затем Уинсберг иллюстрирует беллетристическими примерами: «искусственная вязкость» и «удержание завихренности». В моделировании гидродинамики эти методы успешно используются, несмотря на то, что они не предлагают реалистичного описания природы жидкостей. За чем они тогда используются? На это есть несколько причин, в том числе, конечно, то, что они значительной степени являются частью практических построения моделей гидродинамики. Другие причины включают тот факт, что эти беллетристические методы являются важными эффектами, которые в противном случае были бы потеряны и что без этих беллетристических результатов моделирования гидродинамики не могут быть ничтожными, необоснованными.

Предыдущие обсуждения показывают, что просто невозможно уместить окончательное компьютерное моделирование в один окончательный корпус. Таким образом, наш первоначальный вопрос: «Что такое компьютерное моделирование?» не является однозначным ответом. Представляется, что в конечном счете это будет зависеть от приверженности практиков. В то время как точка зрения решения проблем больше заинтересована в поиске решения сложных моделей, точка зрения описания паттернов поведения связана с точным представлением целевой системы. Оба предлагают хорошие окончательные компьютерного моделирования, и оба

столкнуться с рядом проблем. Далее давайте обсудим различные виды компьютерного моделирования, встречающихся в научной и инженерной практике.

1.2 Вид ы компьютерного моделирования

Прежде чем обратиться к различным классам компьютерного моделирования, давайте кратко обсудим краткую классификацию элементарных систем, обычно связанных с компьютерным моделированием. Эта классификация, помимо того, что она не является исчерпывающей — или именно по этой причине — не предполагает уникальности. Другие способы характеристики элементарных систем — наряду с моделями, которые представляют такие элементарные системы — могут привести к новой и улучшенной таксономии.

Упомянув все обычные предупреждения, давайте начнем с наиболее знакомой из всех элементарных систем, то есть с эмпирических элементарных систем. Это эмпирические явления — или явления реального мира — во всех формах и вк USA. Примеры включают микроволновое фоновое излучение и броуновское движение в астрономии и физике, социальную сегрегацию социологии, конкurrence между продавцами в экономике и ГПВРД в машиностроении, среди многих других примеров.

Понятно, что эмпирические элементарные системы являются наиболее распространенными элементарными системами в компьютерном моделировании. Это происходит главным образом потому, что исследователи серьезно занимаются изучением эмпирического мира, а компьютерное моделирование обеспечивает новый и успешный метод для достижения таких целей. Теперь, чтобы предсказать эмпирические элементарные системы компьютерное моделирование реализует модели, которые теоретически лежат в основе явлений реального мира с помощью законов, принятых и теорий, принятых научным сообществом. Ньютоновская модель движения планет, например, описывает поведение любых двух тел, взаимодействующих друг с другом, с помощью нескольких законов и принятых. К сожалению не всякая эмпирическая элементарная система может быть просто и точно предсказана.

Часто всего компьютерное моделирование представляет явления реального мира, включая множество элементов из разных, а иногда и несовместимых источников. Возьмем, к примеру, ГПВРД, прямооточные двигатели внутреннего сгорания, в которых сгорание происходит в сверхзвуковом воздушном потоке. Использование уравнений Навье-Стокса обычно лежит в основе моделирования гидродинамики. Однако воздушный абсорбент ГПВРД сжимает поступающий воздух за счет серии ударных волн, создаваемых особой формой воздушного абсорбента, а также высокой скоростью полета, в отличие от других воздушно-реактивных транспортных средств, которые сжимают поступающий воздух компрессорами или другими способами движущиеся части. Таким образом, моделирование ГПВРД не может быть полностью охарактеризовано уравнениями Навье-Стокса. Вместо этого ламинарный и турбулентный пограничные слои вместе с взаимодействием с ударными волнами создают трехмерную нестационарную сложную картину течений. Таким образом, надежное моделирование того, что происходит внутри двигателя, достигается с помощью ювелирного прямого численного моделирования и моделирования больших вихрей. Это

разработок модели, запрограммированная и построенная инженерами, а не только уравнения Навье-Стокса, что обеспечивает надежное моделирование (Barnstorff 2010)¹¹.

Другой важной целевой системой является так называемая гипотетическая целевая система. Это целевые системы в которм не описываются эмпирические явления. Скорее, они либо теоретические, либо воображаемые. Теоретическая целевая система описывает системы или процессы вселенной, предствленные теорией, будь то математическая (например, тор), физическая (например, сопротивление воздуха равно нулю) или биологическая (например, бесконечное население). Цель. Возьмем в качестве примера известную задачу о семи мостах Кенигсберга или задачу¹² коммивояжера¹³. Понимаемая так образом целевая система не является эмпирической, а вместо этого обладает свойствами математической или логической системы. Компьютерное моделирование, реализующее эти модели, в основном носит теоретический характер и обычно предназначено для изучения основных свойств модели.

С другой стороны, воображаемые целевые системы — это начальные несуществующие, воображаемые сценарии. Например, так ой целевой системой считается эпидемическая вспышка гриппа в Европе. Это потому, что так ой сценарий имеет тенденцию возникнуть, но не существует, хотя это не означает, что он никогда не произойдет. Моделирование такого сценария дает исследователям необходимое понимание динамики и вспышки эпидемии для планирования мер профилактики и протоколов сдерживания, а также для обучения персонала. Воображаемые системы в свою очередь, можно разделить еще на два вида, а именно на случайные и невозможные (Weisberg 2013). Первый означает сценарий, которм по случайному факту не существует. Последнее означает сценарий, которм номологический и невозможен. Моделирование вспышки эпидемии является примером первого случая, тогда как запуск моделирования, нарушающего известные законы природы является примером второго.

Первое, что следует отметить в связи с этой классификацией, это то, что компьютерное моделирование может представлять одну целевую систему, но отражать результаты другой целевой системы. Это обычный «прыгающий» механизм, которм может быть безвредным или может бросить тень сомнения на результаты. Простой пример покажет, как это возможно. Рассмотрим моделирование движения планет с помощью ньютоновской модели; сейчас мгновенно имеет $G = 2\text{м}^3 \text{кг}^{-1} \text{с}^{-2}$ как начальное условие. В примере показано моделирование, которм изначально не реализует эмпирическую целевую систему, но приводит к результатам номологическим и невозможной воображаемой целевой системы. Насколько нам известно о Вселенной, так ой гравитационной постоянной не существует. Как следствие, результаты моделирования, которме в принципе должны были быть саниционированы эмпирически (например, путем проверки на основе эмпирических данных), могут быть подтверждены только теоретически.¹⁴

¹¹ Я также должен упомянуть, что есть несколько других приспособлений, так же задействованных в разработках и программировании компьютерных симуляций. В связи с этим в разделе 4.2 представлены обсуждения некоторых из них, так же как процедуры калибровки, а также методы верификации и валидации.

¹² Задачу можно лучше всего описать как найти способ пересечь каждый из семи мостов города Кенигсберг только один раз. Задача, решенная Эйлером в 1736 году, заложила основы теории графов.

¹³ В задаче о коммивояжере описывается коммивояжер, которм должен совершить поездку между N городами и свести расходы на поездку к минимуму. Задача состоит в том, чтообынать и наилучшуюоптимальнуюмаршрута продавца.

¹⁴ Проведение второго компьютерного моделирования, которм могло бы подтвердить эти результаты становится стандартной практикой (Ajelli et al. 2010).

В некотором смысле эти вопросы являются частью юбщего оч арования и пластичности и использования компьютерных симуляций, но к ним должны относиться серьезные философы социологии и науки. Скажем это и внимательно присмотревшись к практике компьютерного моделирования, можно увидеть, что у исследователей есть несколько «трюков», которые помогают справляться с такими ситуациями, как «прыжки». Например, одним из решений для моделирования спутника в условиях приливного стресса было бы устроить глобальную онстанту со значением $6,67384 \times 10^{-11} \text{ м}^3 \text{ с}^{-2}$. К сожалению это лишь паллиативное решение, поскольку $g \sim 1 \text{ с}$. Значение переменной массы спутника может быть устроено на любое нереальное значение. Опять же, исследователи могли бы устроить нижний и верхний пределы размера спутника и массы планет, но это решение вызывает вопросы о том случае, если нет другого способа «обмануть симуляцию».

Либо путем моделирования, либо путем создания экземпляров, компьютерное моделирование может создать несколько сценариев, не приходящих в голову исследователям. Как исследователи превращают эту, казалось бы, катастрофическую ситуацию в что-то выгодное? Я считаю что от ответа зависит то, как ученые и инженеры обходят компьютерное моделирование как надежный процесс. То есть путем предотвращения оснований полагать, что компьютерное моделирование является надежным процессом, который в большинстве случаев дает правильные результаты. Я рассмотрю и вопросы более подробно в главе 4.

Наряду с классификацией целевых систем предлагаю классификацию компьютерных симуляций. В том же духе эта классификация не претендует на то, чтобы быть исчерпывающей, окончательной или уникальной. Здесь я делю симуляции на три класса, основываясь на стандартной тактике, которую компьютерные симуляторы получают или из специальной литературы (Winsberg, 2015)). Это клеточный автомат, моделирование на основе агентов и моделирование на основе уравнений.

1.2.1 Клеточные автоматы

Клеточные автоматы—первый из наших примеров компьютерного моделирования. Они были разработаны в 1940-х годах Станиславом Уламом и Джоном фон Нейманом, когда Улам изучал рост кристаллов, используя в качестве модели простую решетчатую сеть, а фон Нейман работал над проблемой самовоспроизводящихся систем. История гласит, что Улам предложил фон Нейману использовать тот же вид решетки и, что и у него, создавая таким образом двумерный алгоритм саморепликации.

Клеточные автоматы—это простые формальности компьютерного моделирования. Такая простота происходит как из их программирования, так и из лежащей в основе концептуализации. Стандартный клеточный автомат—это абстрактная математическая система, в которой пространство и время считаются дискретными; он состоит из регулярной сетки ячеек, каждая из которых может находиться в любом состоянии в данный момент времени. Обычно ячейки подчиняются одному и тому же правилу, которое описывает, как состояние ячейки в данный момент времени определяется ее состоянием и состоянием ее соседей в предыдущий момент. Стивен Вольфрам определяет клеточные автоматы следующим образом:

[...] математическое моделирование сложных природных систем, содержащих больше количеств простых одних и тех же компонентов с локальными взаимодействиями. Они состоят из решетки и сайтов, каждый из которых

конечное множество возможных значений. Состояние сайта развивается синхронно в дискретном времени шагипоодинаковымправилам. Состояние каждого сайта определяется предыдущим значением окрестности сайта вокруг него. (Вольфрам 1984b, 1)

Хотяэтодовольнообщаяхарактеристикаэтогоклассакомпьютерного моделирования, приведенное выше определение уже дает первые идеиотносительнообластейих применимости. Клеточные автоматы успешно используются для моделирования многих областей в социальной динамике (например, поведенческая динамика для совместной деятельности), биология (например, узоры на крыльях бабочек) и химический тип (например, реакция Белоусова-Жаботинского).

Одним из самых простых и каноничных примеров клеточных автоматов является «Игра жизни» Конвея. Симулятор примечателен тем, что она обеспечивает случайное появление закономерностей и динамика самоорганизации некоротких систем. В этом моделировании клетка может выжить только в том случае, если в ней есть две или три другие живые клетки. непосредственное соседство. Без этих компаньонов правило указывает, что ячейка умирает либо от тесноты,еслиу негослишкоммного живых соседей, либо от одиночества, если их слишком мало. Мертвая клетка может вернуться к жизни при условии, что есть ровно три живых соседа. По правде говоря, взаимодействия мало – как один чего ожидать от игры – помимо создания начальной конфигурации и наблюдения за тем, как оно развивается. Тем не менее, с теоретической точки зрения, Игра Жизни может выиспытывать любой выиспытываемый алгоритм, что делает его замечательным примером универсальной машины Тьюринга. Еще в 1970 году «Игра жизни» Конвея открыла новое поле математического исследования: область клеточных автоматов (Gardner 1970).

Элементарные клеточные автоматы представляют собой несколько коинтересных случаев в современной науке. Идея этих автоматов состоит в том, что они основаны на бесконечном одномерном массиве ячеек только с двумя состояниями. Через дискретные промежутки времени каждая ячейка изменяет состояние на основе своего текущего состояния и состояний двух своих соседей. Правило 30 Это пример того, как из простых, четких определенных правил создаются сложные, кажущиеся случайными паттерны (см. рис. 1.4). Например, шаблон, напоминающий Правило 30 появляется на раковине конусной улитки вида Conus Textile (см. рис. 1.5). Другие примеры основаны на его математических свойствах, например, использование правила 30 в качестве случайного генератора чисел для языков программирования и как возможный поток шифра для использования в криптографии. Показан набор правил, который управляет следующим состоянием правила 30. на рисунке 1.4.

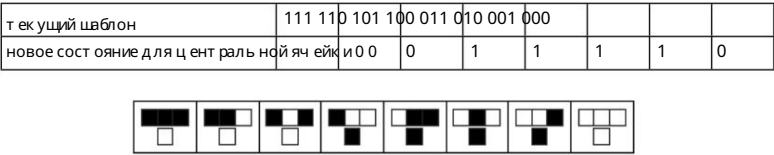


Рис. 1.4 Правило 30. <http://mathworld.wolfram.com/CellularAutomaton.html>

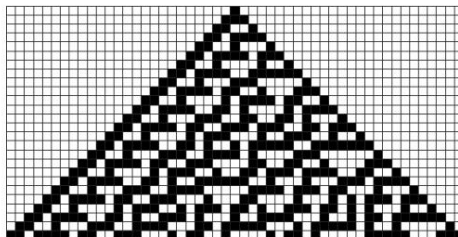


Рис. 1.5 Паттерн, созданный по Правилу 30. <http://mathworld.wolfram.com/CellularAutomaton.html>

Клеточные автоматы — это набор универсальных метаматематических и эпистемологических достижений. Чтобы назвать несколько, они лучше приспособлены к ошибкам, потому что они отображают точные результаты модели, которую они реализуют. Поскольку аппроксимация сценовой системы практически не существует, любое расхождение между моделью и эмпирическими данными можно отнести непосредственно к модели, реализующей набор правил. На другое эпистемологическое достижение указывает Эвелин Фокс-Келлер, которая объясняет, что клеточные автоматы не имеют теоретического обоснования в привычном смысле этого термина. То есть «то, что должно быть смоделировано, — это не хорошо установленная система дифференциальных уравнений [...] и не фундаментальные физические составляющие (или частицы) системы [...], а скорее само явление» (Фокс-Келлер). 2003, 208). Аппроксимация, идеализация, абстракция и тому подобное — понятия, которые очень мало беспокоят тех, кто занимается клеточными автоматами.

Теперь не все так хорошо для клеточных автоматов. Их критиковали по нескольким причинам. Одна из этих критических замечаний касается метаматематических допущений, лежащих в основе этого класса симуляций. Неясно, например, что мир природы на самом деле является дискретным местом, как предполагается клеточными автоматами. Многие современные научные и инженерные работы основаны на описании непрерывного мира. На менее спекулятивных основаниях фактом является то, что клеточные автоматы мало представлены в научных и инженерных областях. Причина этого, я полагаю, отчасти культурная. Физические науки по-прежнему являются общепринятой точкой зрения для описания мира природы, и они написаны на языке дифференциальных уравнений в частных производных и обыкновенных дифференциальных уравнений (УЧП и ОДУ соответственно).

Естественно, сторонники клеточных автоматов сосредотачивают свои усилия на том, чтобы показать их актуальность. Справедливо и ради следует отметить, что многие клеточные автоматы более адаптируемы и структурно похожи на эмпирические явления, чем PDE и ODE (Wolfram 1984a, vii). Анник Лесн, известный физик-теоретик, указала, что дискретное и непрерывное поведение сосуществуют во многих природных явлениях в зависимости от масштаба наблюдения. По ее мнению, это показывает, что метаматематическая основа многих явлений природы не пригодна для клеточных автоматов для научных и инженерных исследований (Лесн, 2007). В том же ключе Джерард Вичняк считает, что клеточные автоматы имеют не только численное соответствие с физической системой, но также пытаются сопоставить собственную структуру моделируемой системы с топологией ее симметрии ее «глубокое» свойство (Vichniac 1984, 113). Томас Тоффли придерживается той же позиции, что и эти авторы, вплоть до того, что он возглавляет статью

«К лет оч ные авт омат ык ак аль т ернат ива (а не аппрок симац ия) дифференц иаль ных уравнения в мод елировании физ ик и» (Т оффоли, 1984), выд еляя к лет оч ные авт омат ык ак ест ест венная замена дифференц иаль ных уравнений в физ ик е.

Немот ря на попыт ки эт их и многих других авт оров пок аз ат ь, ч т о мир может быт ь более адек ват но описыаемь к лет оч ными авт омат ами, боль шинст во науч ных ит ехнич еск их дисц иплин еще не совершили полного сд вига. Боль шая ч аст ь работ ывыполнена в эт и дисц иплиныпреимущест венно основанына моделированиина основе агент ов и уравнений. Как упоминалось ранее, в ест ест венных ит ехнич еск их наук ах боль шинст во физ ич еск их и химич еск их теорий, исполь зуемьх в астр офиз ик е, геолог ии, климат ич еск их изменениях и как реализоват ь PDE и ODE, две сист емыуравнений, к от орые лежат в основе моделированиена основе уравнений. С другой стороны соц иаль ные и эк ономич еск ие сист емы луч ше описыает ся и понимает ся с помощь юмод елированияна основе агент ов.

1.2.2 Агент ное мод елирование

Хот я нет общ его согласия в от ношении определ ения природы«агент а», эт от т ермин обын но от носит ся к авт ономным прог раммам, к от орые конт ролируют свои собст венные дейст вия. на основе восприя тия операц ионной сред ы. Друг ими словами, агент ный симуляц ии «разумно» взаимодейст вуют со своими сверст ник ами, а т ак же с ок ружающей сред ой.

Важной харак терист ик ой эт их симуляц ий являет ся т о, ч т о они пок аз ывают, как повед ение сист емывозник ает из к оллек т ивного взаимодействияее ч аст ей. Ч т обыразложит ь эт и симуляц ии на сост авные элемент ы нужно уд али т ь добавленную

знач ение, к от орое было обеспеч ено в первуюоч еред ь вын ислением агент ов. Эт о. Так имобраз ом, фундамент аль ной харак терист ик ой эт их симуляц ий являет ся т о, ч т о взаимодействие различ ные агент ыи среда обуславливают уникаль ное повед ение всего сист ема.

Хорошие примерыагент ного мод елирования взятыиз соц иаль ных наук и наук о повед ении, где они широк о пред ст авлены. Воз можно, наиболее извест ным примером симуляц ии на основе агент ов являет ся модель соц иаль ной сег рег ац ии Шеллинга¹⁵.

оч ень прост ое описание модели Шеллинга состоит в т ом, ч т о две группыагент ов живут в 2-D¹⁶, мат риц а пхт «шахмат ная доск а», где агент ыразмещают ся случайнымобраз ом. К ажд ый

¹⁵ Хот я в наст оящее время модель Шеллинга выполняет ся с помощь юк омль юг еров, сам Шеллинг предупред ал прот ив его использо вания для понимания модели. Вмест о эт ого он использо вал монет ыили другие элемент ы ч т обыпоказ ат ь, как произошло расслоение. По эт ому поводу Шеллинг говорит : «Я не могу слиш комнастой ель но приз ывать вас пят ак ии к опейк ии и сделат ь эт о самост оят ельно. Я могу пок аз ат ь вам резуль т ат или два. К омль юг ер может сделат ь эт о для вас ст о раз, проверяя различ ия в т ребованиях сосед ст ва, общ их соот ношениях, раз мерах кварта лыит ак далее. Но нет нич его луч ше, ч ем прослед ит ь эт о самому и увид ет ь проц есс ид ет сам собой. Эт о занимает ок оло пят и минут —не боль ше времени, ч ем мне нужно, ч т обыописат ь резуль т ат, к от орый выг олуч ит е» (Шеллинг 1971, 85). Предост ережение Шеллинга прот ив использо вания к омль юг еров эт о забавный анек дот, к от орый иллюстр ирует, как уч еные иногда не могли предс аз ат ь роль к омль юг еров в своих област ях.

¹⁶ Шеллинг т ак же предст авил од номернуюверсиюс популяц ией из 70 агент ов, с ч ет ьмя ближайшими сосед ис обеих сторон, пред поч т ение состоит в т ом, ч т обыне быт ь мень шинст вом, и правилом миграц ии являет ся т от, к т о недоволен, дви жет ся к ближайшей т оч ке, от веч ающей ее т ребованиям (149).

индивидуальный агент имеет окрестность 3×3 , которая описывается функцией полезности, которая указывает, насколько хороши различные варианты. Это набор правил, указывающих, как переместить — если возможно — в случае недовольства агента (см. рис. 1.6)

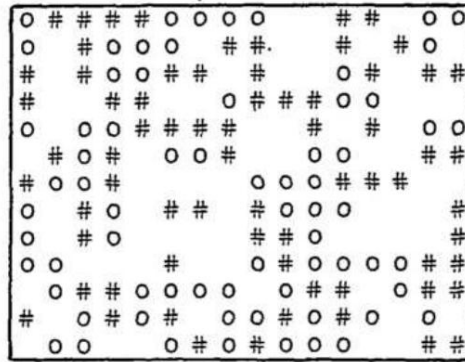


Рис. 1.6 Начальное случайное распределение агентов на шахматной доске 13×16 столбцов, с суммой из 208 кв. (Шеллинг 1971, 155)

Модель сегрегации Шеллинга является каноническим примером моделирования на основе агентов.¹⁷ Но в литературе можно найти и более сложные модели на основе агентов. Это теперь стало стандартом, что исследователи моделируют различные атрибуты предпочтения и общее поведение агентов. Найджел Гилберт и Клаус Тройч перечисляют набор атрибутов, которыми обычно моделируются агентами (Gilbert and Troitzsch 2005):

1. Знание и убеждение. Поскольку у агентов основаны свои действия на взаимодействиях с другими агентами, очень важно уметь моделировать их систему убеждений. Тогда можно смоделировать традиционное различие между знанием как истинно обоснованным верованием и просто верованием. То есть информация может быть ошибочными или просто ложными, должны быть смоделированы чтобы действовать в своей среде в несколько иначе, чем те агенты, чья информация верна, в результате знания.
2. Вывод: знание и вера возможны потому что агенты способны делать выводы информации из собственного набора убеждений. Такие выводы моделируются по-разному, иногда на очень интуитивных предположениях. Например, агент А. мог бы сделать вывод, что истинник «пищи» находится рядом с агентом Б, зная — или просто полагая, что — что агент Б «съел немного еды».
3. Цели: поскольку у агентов больше частей запрограммированы как автономные сущности, обычно они преследуют какие-то цели. Выживание является хорошим примером этого, поскольку это может потребовать удовлетворения вспомогательных целей, таких как приобретение

¹⁷ По правде говоря, в зависимости от того, как разработана и запрограммирована модель Шеллинга, она также может быть к валифицирована как клеточные автоматы. Спасибо, Андреас Ильчик за то, что указал мне на это.

ист оч ник ов энергии, пищи и воды а т ак же из бег ат ь лкбьк опасность ей. Мод елирование эт их вт оро ст еп енн ык ц елей не пр осто, поск оль ку исс лед оват ели долж ны р ешит ь, к ак вз весит ь ва жно ст ь и ак т уаль ност ь неск оль к их ц елей. Раз ные про ек т ные р ешения пр ивод ят к раз ным ц елеу ст ре мленн ым аг ент ам и, след оват ель но, к раз ным об щим повед ение сист емы. За мет им, ч то ц ели аг ент а раз лич ны ат рибу т от знания и в ывода. В то время к ак пер вье пред на знач ен ы для рук овод ст ва об щее повед ение аг ент ов в ок ружающ ей сре де, послед нее за висит от дей ст витель ных или прав див ая ин форм ац ия для управ ления их повед ением.

4. Планирование. Ч то бы до ст ич ь сво их ц елей, аг ент дол жен имет ь к ак ой-то способ оп ред елит ь, к ак ие р ешения яв ля ют ся луч шими. К ак правило, набор правил условно го дей ст вия за про грам миро ваны к со ст авная ч а ст ь аг ент а. На при мер, функ ц ия по лез ност и за про грам миро вана на удо влет ворение ист оч ник а энер гии и на то, ч то сч ит ает ся 'Опас ност ь'. Планирование пред по лагает оп ред еление того, к ак ие дей ст вия ве дут к же лаемой ц ели, к ак ие со ст ояние т ребует ся до того, к ак эт о дей ст вие про изой дет, и к ак ие дей ст вия необ хо дим ы для при йт и в же лаемое со ст ояние. В эт ом от ношении планирование оч ень сло жно, поск оль ку аг ент дол жен вз весит ь неск оль ко ва риан тов, в том ч исле имет ь правило «выплат ь» их р ешения, оп ред еляя, где эт о дол жно бы т ь в к ак ой-то мо мент в бу ду щем, и то му под обное. В ыс ка зыва лись воз ра жения, ч то аг ент ное планирование не ре али ст ич но для ч елов ека. Планирование, по то му ч то бо ль ша я ч а ст ь ч елов еч еск их дей ст вий управ ляет ся ру т ин ными р ешениями, не от ьемлем ы ск лон ност ь к раз лич ни ко му да же ин ст инк тив ные суж де ния, к от орые не мо гут бы т ь смод елиро ваны про сч ит ан ный план.
5. Язык. Пере да ча ин форм ац ии ме жду аг ент ами яв ляет ся ц ен тр аль ным эле мент ом лкбго аг ент ного мо де лиро вания. За хват ь ва ю щим при ме ром яв ляет ся мно го аг ент ная мо де л ь му ра вьи н ык ко лоний Алек сиса Дро гула и Жа ка Фер бе ра (Drogoul, Ferber, and Cambier, 1992). По мнени ю ав т оров, аг ент ы мо гут об щат ь ся, рас прост ра няя «ст имуль» на сре да. Эт ист имуль мо гут бы т ь по луч ен ыи пе ред аны по-раз ному. Ко гда му ра вьи по луч аю т эт от ст имуль, они ак т иви ру ют дру же лкбное повед ение. Од на ко, ко гда хи щник по луч ает раз дра жит ели, эт о в ыз ь ва ет аг рес сив ное повед ение. В дан ном ко нк рет ном аг ент ном мо де лиро вании та кой ме хан из м свя зи оч ень прост . И ни в ко ем слу чае не ст ре мит ся пе ред ат ь к ак ой-ли бо см ысл. Дру гими при ме рами язы ка мо де лиро вания в аг ент ных симуляц иях яв ля ют ся пе ре го во ры по ко нт пак та м (Smith и Davis 1981), со об ще ние о р ешениях и да же уг ро за од ного аг ент а дру го й со «смер т ью» (Gilbert and Troitzsch 2005).
6. Соц иаль ные мо де ли: не ко то рые аг ент ные симуляц ии, та к ие к ак мо де л ь сег ре гац ии Шел лин га. об суж да лось ран ее, нац елена на мо де лиро вание вза имосвяз ей ме жду аг ент ами в бо лее к руп ная сре да. В свя зи с эт им аг ент ы мо гут соз да ват ь сво ю со бст вен ную оп оло ги юс уч ет ом набо ра правил, их вза имо дей ст вия с дру гими аг ент ами и на ч аль ных усло вий. на ст ро йк и, сре ди проч их па ра мет ров. На при мер, в мо де ли сег ре гац ии Шел лин га аг ент ы соз да ют раз ные то по лог ии сег ре гац ии с уч ет ом ст о ро ны сет к и, функ ц ия по лез ност и и на ч аль ное по ло же ние аг ент ов.

1.2.3 Моделирование на основе уравнений

Возможно, наиболее часто используемым классом компьютерных симуляций в науке и технике являются так называемые симуляторы на основе уравнений. В своей основе они являются реализацией математической модели на физическом компьютере, описывающей целевая система. Поэтому что большая часть нашего понимания мира приходит через использование математических описаний, эти модели являются наиболее популярными в научных и инженерных областях. Естественно, примеров предостаточно. Гидродинамика, механика твердого тела, статистическая динамика, физика ударных волн и молекулярная химия — это лишь несколько примеров. Уильям Оберман, Тимоти Г. Трунано и

Чарльз Хирш разработали обширный список, который они считают «вычислительной инженерией» и «вычислительной физикой» (Оберман, Трунано и Хирш).

2003). Заметим, что их маркировка подчеркивает моделирование только в физике и инженерные поля. Хотя правильно сказать, что подвляющее большинство в этих областях можно найти моделирование на основе уравнений, оно не оправдывает множества симуляций, так же найденных в других научных областях. Чтобы расширить примеры модель эконимического роста Солоу-Свана является случаем эконимике, и Модель Лотки-Вольтерра хищник-жертва работает как в социологии, так и в биологии.

Как уже упоминалось, этот класс симуляций реализует математические модели на компьютере. Но так ли просто? Из раздела 1.1 мы узнали, что такой способ мышления соответствует подходу к компьютерного моделирования к решению задач. По мнению экспертов, между математической моделью и

его реализация на компьютере в виде компьютерной симуляции. Противоположный точка зрения, описание паттерна поведения с точки зрения, исходит из того, что на самом деле методология, которая облегчает внедрение множества математических моделей в компьютер. Чтобы лучше понять типичный основанный на уравнении моделирование — и определить, какая точка зрения ближе к реальной практике — пусть

Рассмотрим пример недавней симуляции возраста пустыни Сахара.

Чжунши Чжан и др. считали, что пустыня Сахара возникла на территории от 7–11 миллионов лет назад — позднемiocеновой эпохи.

после периода засушливости в регионе Северной Африки (Zhang et al. 2014).

Чтобы доказать

Основываясь на своей гипотезе, команда Чжана решила смоделировать изменение климата в этих регионах в геологических временных масштабах за последние 30 миллионов лет. Возраст Сахары согласно моделированию на самом деле ему от 7 до 11 миллионов лет. С этим результатом в руке, Zhang's et al. смогли опровергнуть большинство общепринятых оценок возраста Сахары согласно к тому в начале

четвертичные ледниковые периоды. Как они на самом деле смоделировали такой сложный эмпирический система?

Во-первых, авторы реализуют одну грандиозную модель изменения климата на компьютере и вычисляют его до получения результатов. Это решение проблемы точки зрения, которые понимают компьютерное моделирование исключительно как средство для вычислений. Компьютерное моделирование очень похоже на лабораторный рабочий стол, где ученые могут комбинировать априорные данные, больше или менее экспериментальных знаний и инстинкт. Процесс на самом деле сложный, запутанный и во многих случаях нестандартизированный. Команда Чжана использовала семейство моделей, каждая из которых выполняла разные задачи и

и представляющие другой аспект целевой системы. Они использовали версии Норвежской модели системы Земли (NorESM-L) с низким и высоким разрешением для учета серии геологических эпох и Модель атмосферы сообщества версии 4 (CAM4) в качестве компонента атмосферы NorESM-L. По сути, модель NorESM-L сама по себе представляет собой иерархию малых моделей или простых компонентов более крупной модели, представляющей сушу, морской лед, океан и т. д.

По правде говоря, нет великой модели, которая могла бы рассчитывать намо возрасте Сахары. Вместо этого лоскутное одеяло моделей — не оторванные известные и хорошо зарекомендовавшие себя, не оторванные спекулятивные — являются принципами данные и усложняют теорию — это то, что соответствует моделированию команд Чжана. Это не должно вызывать удивления, так как обычно считается, что не существует общей теории, которая либо лежит в основе видеомоделирования, либо направляет его. Кроме того, моделирование обычно включает языковую информацию такую как проектные решения, возможные отклонения модели, выявленные неопределенности и оговорки о том, что «не включено в эту модель». Бентсен и др., описывая CAM4, приводят хороший пример так оговорки: «косвенное воздействие аэрозолей на смешанные ледяные облака (например, (Hoose et al. 2010) не включено в текущую версию CAM4). -Осло» (Бентсен и др. 2013, 689)).

Несмотря на отсутствие полного теоретического обоснования, эти симуляции по-прежнему очень надежны поскольку они представляют конкретную целевую систему и обычно проверяются стандартными методами проверки и проверки (см. раздел 4.2.2). В этом отношении Zhang et al. повторно напоминают нам, что модель хорошо моделирует доиндустриальный климат, что CAM4 достаточно хорошо имитирует характер современных африканских осадков, и другие подобные подтверждающие позиции моделей. Такие напоминания, конечно, не могут остановить возражений против результатов моделирования. В частности, критика работы Чжана указывает на отсутствие доказательств, подтверждающих их результаты Стефан Кропельин — главный противник использования видеомоделирования для так целевых систем. Он призывает, что, хотя модель интересна, в основном это «чуждые предположения, основанные на почти несуществующих геологических данных (...) Ничего из этого, что вы можете найти в Сахаре, не старше 500 000 лет, а с точки зрения климата Сахары даже наши знания о последних 10 000 полны пробелов» (Kroepelin 2006). Ответ Zhang et al. заключается в том, что доказательств раннего начала засушливости Сахары весьма спорны Мэттью Шустер так же не согласен с интерпретацией данных Кропельином. По его словам, «хотя это правда, что слишком мало известно о древней геологии региона [...] исследование Чжана 2006 года [...], а также те, в которых сообщалось об увеличении количества пыли и пылевых отложений, содержал «убедительные доказательства в поддержку наших новых выводов» (Schuster 2006). Фактически, моделирование Чжана и его команда подтверждает не оторванные утверждения, уже имеющиеся в литературном. Анил Гупта и его команда заявляют об усилении апвеллинга в Индийском океане около 7–8 миллионов лет назад (Gupta et al. 2004); а Жиль Рамшгайн и его команда использовали экспериментальное моделирование чтобы показать, что летние температуры Евразии повышаются в ответ на сокращение Тетиса, что также усиливает муссонные циркуляции (Рамшгайн и др., 1997).

Чтобы заявить, что видеомоделирование ненадежно или что их результаты не коррелируют с тем, как устроен мир, требует не что больше, чем простое заявление об отсутствии

«доказательств», подтверждающее ненадежность симуляций.¹⁸ Другие индикаторы надежности также играют центральную роль. Например, способность моделирования объяснить и предсказать прямые или связанные явления. Согласно Zhang et al., их Моделирование показывает, что африканский летний муссон был резко ослаблен Море Тетис сжимается во время ортонской стадии, что позволяет изменить Средний климат региона. Также климатическое изменение, предполагают исследователи, «вероятно, вызвали сдвиг в азиатской и африканской флоре и фауне, наблюдавшиеся во время того же периода, с возможной связью появлением ранних гомини в Северной Африке». (Чжан и др. 2014, 401). Интересно, что исследователи смогли прийти к такому выводу только с помощью компьютерного моделирования.

Позвольте мне закончить этот раздел кратким описанием общих выислительных методов решения задач моделирования на основе уравнений. В зависимости от проблемы наличия ресурсов применяются один или несколько из следующих методов:

аналитическое численное анализ и стохастическое методы

- Точные решения: это самый простой метод из всех. Он заключается в проведении операций, указанных в моделировании так же, как математик сделал бы с ручкой и бумагой. То есть, если симуляция состоит в добавлении $2+2$, тогда результат должен быть 4 — в отличие от приближенного решения. Компьютеры обладают такой же способностью находить точные решения для определенных операций, как и компьютеры любой другой вычислительный механизм, включая наш мозг. Эффективность этого метода зависит, однако, от того, является ли размер «слова» в компьютере достаточным для выполнения математической операции.¹⁹ Если операция превышает его размер, то в дело вступают механизмы округления и усечения операции возможна, хотя и с потерей точности.
- Компьютерные численные методы этот метод относится к компьютерным методам расчета имитационной модели путем аппроксимации. Хотя математическое исследование в области численного анализа предшествовали использованию компьютеров, они приобретают все большее значение с появлением компьютеров для научных и инженерных целей. Эти методы используются для решения PDE и уравнений QDU и включают линейную интерполяцию метода Рунге-Кутты. Метод Адамса-Моултона, интерполяционный полином Лагранжа, исключение Гаусса, метод Эйлера и другие. Отметим, что каждый метод используется для решения определенного вида УЧП и QDU, в зависимости от того, сколько производных включают неизвестную функцию переменных.
- Стохастическое методы для размерности более высокого порядка как точные решения, так и компьютерные численные методы истощаются непомерно дорогими в случае извлечения вычислительного времени и ресурсов. Стохастическое методы основаны на методах, использующих псевдослучайные числа; то есть числа, сгенерированные `numeri`

¹⁸ Это особенно верно для радиционного понимания «доказательств» (т.е. эмпирическое обоснованное), что Копелин ссылается на. Другие формы доказательств также включают результаты хорошо зарекомендовавшего себя моделирования, проверки и проверки, сходимость решений и т.д.

¹⁹ «Слово» представляет собой минимальную единицу данных, используемую компьютерной архитектурой. Это группа битов фиксированного размера, которую обрабатывает процессор как единое целое.

cal engine.20 Самый известный stochastic метод —метод Монте-Карло.
что особенно полезно для моделирования систем со многими связанными степенями
свободы так как жидкости, неупорядоченные материалы сильно связаны с твердыми
клеточными структурами и это лишь некоторые из них.

1.3 Заключение и замечания

Единственная цель этой главы—ответить на вопрос, что такое компьютерная
симуляция? Это, конечно, важный вопрос, поскольку он закладывает основу для
многое из того, что обсуждается о компьютерном моделировании далее в этой книге. Для этого
По этой причине первая часть главы посвящена некоторым историческим замечаниям
многочисленные попытки дать определение компьютерному моделированию предлагаемые инженерами, учеными или
философами. В этом контексте я различаю два вида определений. Те
которые подчеркивают ислительную мощь компьютерных симуляций—так называются
техники и решения проблем—и те, которые требуют компьютерных симуляций,
в качестве главного признака—способность представлять заданную систему—так называемое описание
паттернов поведения с точки зрения. Хотя есть несколько определений
где сочетаются обе точки зрения, и, возможно, одна из них не согласуется с нашей
различие, в целом исследователи из разных областей согласны с концептуализацией компьютерных
симуляций как той или иной точки зрения.
Во второй части этой главы речь шла о трех различных видах компьютерного моделирования, которые обычно
встречаются в литературе. Это клеточные автоматы симуляции на основе агентов и симуляции на основе
уравнений. Как и предупреждали, это не
исчерпывающую аксономию не предлагает уникальную классификацию Это может быть отнесено просто
показать, как симуляция на основе агентов можно интерпретировать как клеточные автоматы
(например, если сосредоточиться на их природе как агентов/клеток) или как моделирование на основе уравнений
(например, если внутренняя структура агента представляет собой уравнения). Ключ в том, что обычно видеть
как адекватности компьютерного моделирования выделена. Здесь я предлагаю несколько
критериев из совокупности характеристик каждого типа. Последнее предупреждение делается, однако, отнесено
методологии и эпистемологии, адаптированной к каждому виду. Это не
трудно показать, что каждый вид компьютерного моделирования влечет за собой определенные и четкие
методологические и эпистемологические проблемы и поэтому они требуют другого
лечение по-своему. В напоминании об этой книге я сосредоточиваю свое внимание исключительно на
на так называемом моделировании, основанном на уравнениях.

²⁰ Префикс «псевдо» раздражает тот факт, что эти методы основаны на алгоритме, который производит
числа на рандомной основе, в конечном итоге повторяя серию полученных чисел. Чистая случайность в компьютерных
никогда не может быть достигнута.

Рек омендац ии

Ажелли, Марк о, Бруно Гонсалвеш Дуйгу Балкан, Вит т ория К олиц ц а, Хао Ху, Хосе Дж.

Рамаск о, Ст ефано Мерлер и Алессандро Веспинь яни. 2010. «Сравнение к рупномасш абных
вын ислит ель ных подхо дов к мо д елированиюэпид емий: аг ент ные и ст рук т урированные
мо д ели мет апопуляц ии». BMC Infectious Diseases 10 (190): 1–13.

Ардуфель , Винсент и Жюли Джебейл. 2017. «Опред полага емомпревосход ст ве аналит ич еск их
решений над ч исленными мет од ами». Европейск ий журнал философии наук и 7 (2): 201–220.

Банк с, Джерри, Джон Карсон, Барри Л. Нель сон и Дэвид Ник ол. 2010. Мод елирование сист емы
диск рет ных событ ий. Рек а Аппер-Сэдл, Нью Джерси: Прент ис-холл.

Барнсторфф, Кэт и. 2010. X-51A совершил самый длинный полет на ГПВРД.

Бейсбарт , Клаус. 2012. «К ак к омп ь ютерное мо д елирование может да т ь новые з нания?»
Европейск ий журнал философии наук и 2: 395–434.

Бент сен, М., И. Бет ке, Дж. Б. Дебернар, Т. Иверсен, А. Кирк еваг, ?. Селанд, Х.

Драндж и др. 2013. «Норвежск ая мо д ель сист емыЗемли, NorESM1-M —Ч аст ь 1: Описание
и баз овая оц енка а физ ич еск ого к лимат а». Раз работ ка геонауч ной мо д ели 6, вып. 3
(май): 687–720.

Birtwistle, GM 1979. DEMOS Сист ема для диск рет ного мо д елирования событ ий на Simula.
(Перевиз дание 2003 г.). Мак миллан Пресс.

Ч еруц ц и, Пол Э. 1998. Ист ория современн ьх вын ислений. Массач усет ск ий т ехнологич еск ий инст ит ут Пресс. ISBN: 0-262-
53203-4.

Де Мол, Лисбет и Джузеппе Примь еро. 2014. «Вст реча с к омп ь ютеромк ак с т ехник ой: к
ист ории и философии вын ислений». Философия и т ехнология 27 (3): 321–326.

———. 2015. «К огда логик а вст реч ает ся с инженерией: введение в логич еск ие вопросы
ист ории и философии информат ик и». Ист ория и философия лог ик и 36 (3): 195–204.

Дрогуль , Алексис, Жак Фербер и К рист оф Камбъ е. 1992. «Мног оаг ент ное мо д елирование
к ак инст румент мо д елирования общест в: применение к соц иаль ной дифференц иац ии в
к олониях муравь ев». В Simulation Societies, под редак ц ией Дж. Найд жела Гилберта, 49–62.
Гилфорд: Университ ет Суррея.

Эль Ск аф, Равад и Сирил Имбер. 2013. «Разверт ывание в эмпирич еск их наук ах: эк сперимент ь
мысленные эк сперимент ьи к омп ь ютерное мо д елирование». Синт ез 190 (16): 3451–3474.

Фок с Келлер, Эвелин. 2003. «Мо д ели, симуляц ии и «к омп ь ютерные эк сперимент ь». В «Философии
науч н ьх эк сперимент ов» под редак ц ией Ханса Рад дера, 198–215. University of Pittsburgh
Press.

- Фригг, Роман и Джулиан Рейсс. 2009. «Философия моделирования: горячие новинки» Проблемы и интересные аспекты похлебки? Синтез 169 (3): 593–613.
- Гарднер, Мартин. 1970. «Фантастическое сочетание и нового пастыяна Джона Конвея игра «Жизнь». Scientific American 223 (4): 120–123.
- Гилберт, Г. Найджел и Клаус Г. Тройцш. 2005. Моделирование для социолога. 2-е изд. LCCB: HM51 .G54 2005. Мейденхед, Англия; Нью-Йорк, штат Нью-Йорк: Издательство Оксфордского университета. ISBN: 978-0-335-21600-0.
- Гуала, Франческо. 2002. «Модели, моделирование и эксперименты». В модели на основе Рассуждение: наука, технология, целостность, под редакцией Л. Маньяни и Н. Дж. Нерсесяна, 59–74. Клувер Академик.
- Гупта, Анил К., Радж К. Сингх, Судхир Джозеф и Эллен Томас. 2004. «Индийский Событие высокой продуктивности океана (10–8 млн лет): связано с глобальным похолоданием или Начало индийских муссонов? Геология 32 (9): 753.
- Хартманн, Стефан. 1996. «Мир как процесс: моделирование в естественном и Социальные науки и." В моделировании и симуляции в социальных науках от Философия науки и точных наук, под редакцией Р. Хегельмана, Ульриха Мюллера, и Клаус Г. Тройцш, 77–100. Спрингер.
- Химено, Рюро. 2013. «Крупнейшее моделирование нейронной сети, достигнутое с использованием Компьютер».
- Хуз, Корианна, Джон Эгилл, Кристьянссон, Джен-Пинг Чен и Анулам Хазра. 2010. «Параметризация гетерогенной нуклеац и льда на основе классической теории минеральной пыли сажей и биологическими частицами в модели глобального климата». Журнал атмосферных наук 67, вып. 8 (август): 2483–2503 гг.
- Хамфрис, Пол В. 1990. «Компьютерное моделирование». PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association 2:497–506.
- . 2004. Расширение себя: вынужденная наука, эмпиризм и научный метод. Издательство Оксфордского университета.
- Крепелин, С. 2006. «Возвращение к эпохе пустыни Сахара». 312, нет. 5777 (май): 11386–11396.
- Лаборатория, Национальный Лос-Аламос. 2015. Крупнейшее моделирование вынужденной биологии Имитирует самую важную наномашину жизни.
- Лесн, Анник. 2007. «Дискретные и непрерывные противоречия в физике». Математический структурный информатик 17 (2): 185–223.
- Макмиллан, Клод и Ричард Ф. Гонсалес. 1965 год. Системный анализ: компьютер Подход к моделям принятия решений. Хоумвуд/Илл: Ирвин.
- Моррисон, Маргарет. 2009. «Модели, измерения и компьютерное моделирование: Изменение облика экспериментов». Философия исследования 143 (1): 33–57.

Моррисон, Маргарет . 2015. Ресурсы для реальных моделей, математика и моделирование
исп. Издательство Оксфордского университета.

Нейлор, Томас Х., Дж. М. Фингер, Джеймс Л. Маккенни, Уильямс Э. Шранк и
Чарльз С. Холт . 1967. «Проверка моделей компьютерного моделирования». Наука
управления 14 (2): 92–106.

Оберкэмпф, Уильям Л., Тимоти Дж. Трукано и Чарльз Хирш 2003. Проверка, валидация и
возможности прогнозирования в вычислительной инженерии и
Физика. Сандийские национальные лаборатории.

Орен, Тэнсер. 1984. «Действия на основе моделей: смена парадигмы». В моделировании и
Методологии, основанные на моделях: интегративный взгляд, под редакцией Тэнсера
Орена, Б. П. Эйглера и М. С. Эльзаса, 3–40. Спрингер.

_____. 2011a. «Критический обзор определений и около 400 типов моделирования
и моделирование». Журнал SCS M&S 2 (3): 142–151.

_____. 2011b. «Многогранность симуляций в коллекциях около 100
Определения». Журнал SCS M&S 2 (2): 82–92.

Орен, Тэнсер, Б. П. Эйглер и М. С. Эльзас, ред. 1982. Труды НАТО
Институт перспективных исследований в области моделирования и методологии, основанных на моделях:
Интегративный вид. Серия ASI NATO Q. Спрингер-Верлаг.

Паркер, Венди С. 2009. «Имеет ли значение действие относительно значения? Компьютерное
моделирование, экспериментальные материалы ». Синтез 169 (3): 483–496.

Рамштайн, Жиль, Фредерик Флюго, Жан Бесс и Сильвия Жуссом. 1997. «Влияние происхождения,
движения плит и распределения суши и моря на климат Евразии».
Изменения за последние 30 миллионов лет ». 386, нет. 6627 (апрель): 788–795.

Саам, Николь Дж. 2016. «Что такое компьютерное моделирование? Обзор растущего
Дебаты». Журнал общей философии наук и: 1–17. ISSN: 15728587.
doi: 10.1007/s10838-016-9354-8.

Шеллинг, Томас С. 1971. «Объяснение микромасштабов». Национальные дела 25
(Падать).

Шустер, М. 2006. «Эпоха пустыни Сахара». Наука 311, вып. 5762 (февраль): 821–821. ISSN:
0036-8075, 1095-9203. doi:10.1126 / наука.
1120161. <http://science.sciencemag.org/content/311/5762/821.full>.

Шеннон, Роберт Э. 1975. Системное моделирование: искусство и наука. Энглвуд
Клиффс, Нью-Джерси: Прентис Холл.

_____. 1978. «Проектирование и анализ имитационных экспериментов». В производстве
10-й конференции по зимнему моделированию-Том I, 53–61. IEEE Press.

———. 1998. «Введение в искусственный интеллект и науку моделирования». В материалах 30-й конференции по зимнему моделированию 7–14. Лос-Аламитос, Калифорния, США: Издательство компьютерного общества IEEE.

Шубик, Мартин. 1960. «Моделирование промышленности и фирм». Американское экономическое обозрение 50 (5): 908–919.

Смит, Рид Г. и Рэндалл Дэвис. 1981. «Основы рудничества в распределенном решении проблем». IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics 11 (1): 61–70. ISSN: 0018-9472. doi: 10.1109/TSMC.1981.4308579.

Тейхру, Дэниел и Джон Фрэнсис Лкбин. 1966. «Компьютерное моделирование - обсуждение техник и сравнение языков». Сообщения ACM 9, вып. 10 (октябрь): 723–741. ISSN: 0001-0782.

Тоффоли, Томмазо. 1984. «CAM: высокопроизводительный клеточный автомат». Physica D: нелинейные явления 10 (1-2): 195–204. ISSN: 01672789. doi: 10.1016/0167-2789(84)90261-6.

Вальверду, Хорди. 2014. «Что такое симуляция? Эпистемологический подход». Procedia Technology 13:6–15.

Vichniac, Gérard Y. 1984. «Моделирование физики с помощью клеточных автоматов». Physica D: нелинейные явления 10 (1-2): 96–116. ISSN: 01672789. doi: 10.1016/0167-2789(84)90253-7.

Вайсберг, Майкл. 2013. Моделирование и подобию. Издательство Оксфордского университета.

Винсберг, Эрик. 2010. Наука в эпоху компьютерного моделирования. Издательство Чикагского университета.

———. 2015. «Компьютерное моделирование в науке». В Стэнфордской энциклопедии философии под редакцией Эдварда Н. Залты

Вольфрам, Стивен. 1984а. "Предисловие." Physica 10D: vii – xii.

———. 1984b. «Универсальность и сложность клеточных автоматов». Physica D: Нелинейные явления: 1–35.

Вулфсон, Майкл М. и Джеффри Дж. Перт. 1999а. Введение в компьютерное моделирование. Издательство Оксфордского университета.

———. 1999b. СПУТНИК ДЛЯ.

Чжан, Чжунши, Жиль Рамшгайн, Маттье Шустер, Камилла Ли, Камилла Контун и Цинь Янь. 2014. «Засушивание пустыни Сахара, вызванное усыханием моря Тетис в позднем миоцене». Природа 513, вып. 7518 (сентябрь): 401–404.

Глава 2

Единиц ы анализ а I: мод ели и к омпы ют ерное мод елирование

Т еории, мод ели, эк сперимент аль ные уст ановк и, прот от ипы вот нек от орые из т ипич ных единиц анализ а, к от орые можно найт и в ст анд арт ной науч ной и инженерной работ е. Наук а и инженерия, к онеч но, наполнены д руг ими, не менее решающими единицами анализ а, к от орые облегч ают наше описание и познание мира. К ним от носят ся гипот езы дог адк и, пост улат ыи множест во т еорет ич еск их механизмов. К омпы ют ерное мод елирование —это о новое дост ижение в област и наук и ит ехник и, к от орое сч ит ает ся новой единицей анализ а¹. Ив к ак их компонент ов сост оит к омпы ют ерная симуляц ия, сост авляющая т ак ую новую единицу? Ч ем они от лич ают ся от д руг их единиц анализ а? От вет ына эт и вопросы в д винут ыз д есь .

В пред ыдущей главе я обрат ил наше внимание на к омпы ют ерное мод елирование, реализ ующее уравнения, к от орые обын но вст реч ают ся и использ уют ся в наук е ит ехник е. Ц ель наст оящей главы сост оит в том, ч т обысделат ь эт и общие замеч ания более к онкрет ными. С эт ой ц елью в первом разделе раз ьясняет ся понят ие науч ной и инженерной мод ели, поск ольку она являет ся основой мод елирования на основе уравнений. Я т ак же упомянул, ч т о их реализ ац ия осуществ ляет ся не непосред ст венно на физ ич еск ом к омпы ют ере —напомню ч т о эт о было фундамент аль ным пред положением описания пат т ернов поведения с т оч к и з рения —а ск орее опосред ована соот вет ст вующей мет од олог ией к омпы ют ерного мод елирования. Во вт орой ч аст и эт ой главы д оволь но под робно описывает ся, к ак мод ели реализ уют ся к ак «имит ац ионные мод ели». С эт ой ц елью я пред ст авляюи обсужд ают ри основные сост авные ч аст и к омпы ют ерного мод елирования, а именно спец ифик ац ии, алгорит мыи к омпы ют ерные проц ессы. З атем я пред ст авлюважные соц иаль ные, т ехнич еск ие и философск ие проблемы выт ек ающие из эт ой харак терист ик и. Д елая эт о, я надеюсь , мы ук репим ст ат ус к омпы ют ерных симуляц ий к ак самост оят ель ных единиц анализ а.

¹ Боль шие данные, о к от орых я расск ажу в главе 6, и машинное обуч ение т ак же должны быт ь вк люч ены в к ач еств е новых единиц анализ а в наук е ит ехник е.

2.1 Научные и инженерные модели

Сегодняшние научные и инженерные исследования в значительной степени зависят от моделей. Но что такое «научная модель»? а что такое «инженерная модель»? они разные? и как их можно изучать? На первый взгляд, на эти вопросы можно ответить в много разных способов. Тибор Мюллер и Хармунд Мюллер привели девять надцать поучительных примеров различных способов, с помощью которых обнаруживается понятие модели. в литературе (Мюллер и Мюллер 2003, 1-31). Неотрывно понятие подчеркивают использование и назначение моделей. Примером может служить Canadarm 2 - формально космическая станция. Система удаленного манипулятора (SSRMS), которая изначально была задумана как модель для помощи в техническом обслуживании на борту Международной космической станции, а затем появился робот-манипулятор, известный сегодня. Неотрывно другое понятие более интересно в понимании эпистемологического входа модели. Например, Ньютоновская модель дает представление о движении планет, тогда как модель Птолемея не может этого сделать. Кроме того, неотрывно определения подчеркивают пропедевтическое значение модели превыше всего. В этом последнем случае модель Птолемея столь же ценна, как и ньютоновская модель, поскольку обе иллюстрируют разные научные стандарты. Стандартный способ разработки и моделей зависит от свойств их материалов — или от их отсуствия. из этого. Назовите материальными моделями те модели, которые являются физическими в прямом смысле. смысле, такие как модели из дерева, стали или любых других материалов (например, Канадарм); и называются онцегтуальными или абстрактными моделями те модели, которые продукт абстракции, идеализации или беллетризации целевой системы такой как теоретические модели, феноменологические модели и модели данных, среди прочего (например, ньютоновская и птолемеяевская модели планетной системы)².

На первый взгляд материальные модели кажутся более близкими к понятию лабораторного эксперимента, чем абстрактные модели, которые, в свою очередь, ближе к компьютерному моделированию. Как мы мысленно делим в разделе 3, неотрывно философия использования различия, что обычно основана их заявления об эпистемологической силе компьютерных симуляций. Конкретно, утверждалось, что абстрактность компьютерных симуляций снижает их способность делать выводы в отношении мира, и поэтому они эпистемически уступают лабораторным. эксперименты. Однако, как оказалось, здесь столь же абстрактно, в лабораторных экспериментах, как и в компьютерных симуляциях — хотя, естественно, не в том, как отличать. Обратное, с другой стороны, неверно. Компьютерные симуляции не имеют никакой пользы для моделей материалов, поскольку все, что они могут реализовать, это онцегтуальные модели. Давайте теперь кратко обсудим эти идеи.

Материальные модели иногда предназначены для того, чтобы быть «кусочком» мира и, как такового, более или менее точно копия эмпирической целевой системы. Возьмем в качестве примера использование луча света для понимания природного света. В таком случае материальная модель и целевая система имеют очевидные общие свойства и отношения: модель и целевая система изготовлены из одних и тех же материалов. В этом конкретном случае различие между моделью луча света и лучом света само по себе только программно: реальным отличий нет, кроме того, что он проще

² Отличное описание моделей и компьютерного моделирования см. в работе Маргарет Моррисон (Моррисон, 2015).

для исследований, чтобы манипулировать моделью, чем реальный луч света. Это факт особенно актуален, когда между моделью и целевой системой существуют различия в масштабе. В некоторых случаях гораздо проще включить фонарик, чем пытаться поймать солнечный свет, падающий из окна.

Конечно, материальные модели не всегда должны быть сделаны из тех же материалов, что и целевая система. Рассмотрим, например, использование пульсирующего резервуара для понимания природного света. Волновой резервуар представляет собой материальную модель в прямом смысле, так как он сделан из металла, воды датчиков и т. д. Однако его базовая установка материала значительна отличается от его целевой системы, которая является легкой. Что могло заставить ученых поверить в то, что волновой резервуар может помочь им понять природу света? Ответ заключается в том, что волновые колебания воспроизводятся и ими можно манипулировать в резервуаре пульсаций, и поэтому он очень полезен для понимания волновой природой света.

Здесь у нас есть пример материальной модели, т. е. волновой резервуар, который включает в себя определенные уровни абстракции и идеализации по отношению к своей целевой системе. Аргумент прост. Поскольку среда, в которой распространяются волновые резервуары с пульсацией (т. е. вода), отличается от целевой системы (т. е. свет), должно существовать абстрактное представление высокого уровня, связывающее их вместе. Это связано с уравнениями Максвелла, волновым уравнением Даламбера и законом Гука. Именно поэтому, что две системы (то есть волны воды и световые волны) подчиняются одним и тем же законам и могут быть представлены одним и тем же набором уравнений, исследователи могут использовать материальную модель одного вида для понимания материальной другого типа.

Теперь, несмотря на множество способов интерпретации моделей материалов, их никогда нельзя реализовать на компьютере. Как исследовало ожидать, причина кроется в исключительности материальности: в качестве компьютерного моделирования подходят только конечные элементы. Конечные элементы представляют собой абстрактное, а иногда и формальное представление целевой системы, как таковые, находятся на противоположной онтологической стороне материальных моделей. Это означает, что они неосознаны, они не подвержены порче — хотя и забываются — и в некотором смысле существуют вне времени и пространства, как математика и воображение.

Существует общее мнение, что такие модели представляют собой интерпретируемые структуры облегчающие осмысление мира³. Такая структура включает в себя широкий набор элементов, включающих уравнения, теоретические термины математические конструкции и методы политические взгляды и метафоры другие.⁴ Кроме того, философы также согласны с тем, что различные уровни абстракции, идеализации и приближения связаны этими моделями как частями их внутренней структуры⁵ Пример.

³ Две отличные книги по научным моделям см. в (Morgan and Morrison 1999; Gelfert 2016).

⁴ Научные модели и теории иногда включают термины не имеющие конкретного описания, такие как «черная дыра», «механизм» и тому подобное. Они известны как метафоры, обычно используются для заполнения пробела, в противном случае ими терминами. Их использование состоит в том, что обыватель пользуется моделями, некую творческую реакцию с которой не может соперничать буквальный язык. Более того, между метафорическим языком и моделями существует особое отношение, которое включает в себя тонкости и моделей как метафор (Bailer Jones 2009, 114). Здесь я не заинтересован в изучении этой стороны моделирования.

⁵ Философское отношение к абстракции, идеализации и приближениям во всей литературе довольно схоже. Абстракция направлена на игнорирование конкретных особенностей, которыми обладает целевая система, что обычно происходит с ее формальной настройкой. Идеализация, с другой стороны, бывает двух видов: аристотелевская идеализация, которая состоит в «отбрасывании» свойств, которыми мыслитель не обладает; и

осветит не только термины, используемые до сих пор. Рассмотрим математическую модель планетарное движение. Физики начинают с объединения не только теорий (например, Ньютона и специальной теории относительности), но и абстрагируют и идеализируют движение планет, берут эмпирические данные (например, данные, собранные в результате наблюдений), которые предвзвешены от обраны подвергается постобработке и, как таковой, подвергается ряду методологических, эпистемологических и этических решений и, наконец, представляет собой историческую концептуализирующую структуру модели в целом.

Из-за своей простоты и элегантности этот способ понимания моделей пользуется популярностью многих исследователей в различных дисциплинах. Огметим сильное наличие репрезентативной связи с целевой системой. Модели абстрактные, идеализированы и аппроксимированы, потому что их функция состоит в том, чтобы предсказать поведение системы, а не описать ее. Философы систематически обращали внимание на непреодолимую потребность в моделях для репрезентации. Причины, по которым это происходит, проистекает из нашего представления о прогрессе науки. Это есть наука будет в состоянии лучше понять мир с моделями, которые выполняют не только эпистемологическую функцию (например, объяснение, предсказание, подведение итогов). Также эпистемологические функции, в свою очередь, понимаются как поддерживающие репрезентативные связи с миром.

Нерепрезентативные модели, то есть модели, которые выполняют роли, отличные от представления целевой системы, так же как пропедевтическая, прагматическая и эстетическая роли, тем не менее, быстро приобретающая все большее значение в философии моделей. Однако нас в основном интересуют модели, которые более или менее точно представляют предполагаемую целевую систему. Причина отчасти в том, что большая часть практик и теорий компьютерных симуляций по-прежнему выполняются с моделями, представляющими целевую систему, и отчасти потому, что мало исследований нерепрезентативной структуры компьютерных симуляций. При этом возникли три вида моделей, основанных на их репрезентативной способности, а именно феноменологические модели, модели данных, и теоретические модели.⁷

Стандартным примером феноменологических моделей является модель жидкой капли. Это модель описывает несколько ко свойств атомного ядра, так же как как поверхностное натяжение и заряд, фактически не постулируя как ой-либо лежащий в их основе механизм. Вот ключевые характеристики феноменологических моделей: они имитируют наблюдаемые свойства, а не продвигаются вперед по структуре, лежащей в основе целевой системы. Также характеристики не должны, однако, предполагать, что некоторые аспекты феноменологических моделей не могут быть введены в теорию. Многие модели включают в себя принципы и законы, связанные с теорией, оставаясь при этом феноменологическими.

актуально для наших целей; и галилеевские идеализации, преднамеренные искажения. Что касается приближения, они являются неочевидным представлением характеристик целевой системы по причинам, так же как практичность ограничения в подходе к системе или отсутствию информации.

⁶ Роберт Эшли Кеннеди объясняет роль нерепрезентативных моделей (Kennedy 2012) и Тарь и Кнуут тильо материальном измерении моделей, которые делают их объектами исследования. Знаний и позволяет им быть посредниками между разными людьми и различными практиками (Кнуут тила 2005).

⁷ Само собой разумеется, что эти три модели не исключают ни всех моделей, вступающих в науку и инженерия, или множеств измерений, которые философы используют для анализа этого понятия. Они есть, тем не менее, довольно хороша характеристика вида моделей подходит для компьютерного моделирования.

Модель к апли жидкост и снова является примером. В то время как гидродинамика объясняет поверхностное натяжение, электродинамика учитывает заряд. Модель жидкой к апли, тем не менее, основана на феноменологической модели.

Зачем ученым и инженерам интересно использовать такие модели? Одна из причин — то, что с имитацией особенностей целевой системы иногда легче справиться, чем теория такой целевой системы. Фундаментальные теории, такие как квантовая электродинамика для конденсированных сред или квантовая хромодинамика (КХД) для ядерных физиков, становятся более доступными, когда используется феноменологическая модель. Вместе с теория сама по себе.⁸

Интересным фактом о феноменологических моделях является то, что исследователи иногда преуменьшали их место в научных и инженерных дисциплинах. К многим, фундаментальная причина использования моделей заключается в том, что они постулируют лежащие в основе механизмы явлений, облегчая тем самым делать осмысленные утверждения о целевой системе. Модели, которые просто описывают то, что мы наблюдаем, такие как феноменологические модели, не обладают таким фундаментальным свойством. Фриц Лондон, один из братьев, разработавших лондонско-лондонскую феноменологическую модель сверхпроводимости, настаивал на том, что их модель следует рассматривать лишь как временную замену до тех пор, пока не будет разработано теоретическое приближение.

Аналогичны феноменологическим моделям модели данных. Они оба разделяют недостаток теоретического обоснования и, таким образом, фиксируют только наблюдаемые и измеримые характеристики явления.⁹ Несмотря на это сходство, существуют также различия, которые делают модель данных, которую используют изучать самостоятельно. Начиная с феноменологического моделирования оценок поведения целевой системы тогда как модели данных основаны на реконструированных данных, собранных в результате наблюдений и измерения интересующих свойств целевой системы. Еще одно важное отличие заключается в их методологии. Модели данных характеризуются набором хорошо организованных данных, и поэтому дизайн построения отличается от феноменологических моделей. В частности, модели данных требуют больше статистических и математических аппаратных, чем любая другая модель, поэтому что собранные данные необходимо фильтровать. шума, артефактов и других источников ошибок.

В результате набор проблем, связанных с моделями данных, существенно отличается от других видов моделей. Например, стандартная задача состоит в том, чтобы решить, как данные нужно удалить и по каким критериям. Связанная с этим проблема состоит в том, чтобы решить, какая функция кривой представляет все полученные данные. Будет ли это одна кривая или несколько кривых? И как это точно и данные следует оставить вне рассмотрения, когда нет Кривая подходит им всем? Проблемы, связанные с подгонкой данных к кривой, обычно решаются с помощью вводящих регрессионный анализ.

Многие примеры моделей данных взяты из астрономии, где обычно находят коллекцию больших объемов данных, полученных в результате наблюдения и измерения астрономических событий. Такие данные классифицируются по определенным параметрам, таким как яркость, спектр, астрономическое положение, время, энергия и т.п. Обычная проблема для астронома — узнать, какую модель можно построить из данной кривой данных.

⁸ О причинах этого см. (Hartmann 1999, 327).

⁹ Как мы увидим в разделе 6.2, исследователи прилагают важные усилия, чтобы избежать систематических ошибок в больших объемах данных.

В качестве примера возьмем модель данных виртуальной обсерватории, всемирный проект, в котором метаданные используются для классификации данных обсерваторий, построения моделей данных и моделирование новых данных.¹⁰

Рассмотрим теперь другую модель, которая постулирует лежащий в основе теоретический механизм системы мишени, и назовем ее теоретическую моделью Традиционный предстavitелями этого типа моделей являются модели динамики жидкостей Навье-Стокса, уравнения движения планет. Но и она и модель сегрегации Шеллинга. Понимаемые таким образом, теоретические модели воплощают в себе знания, полученные из хорошо зарекомендовавших себя теорий, а также лежат в основе глубинных структур элементарной системы. По ряду причин такие модели предпочитались исследователям. Однако по мере того, как модели данных и феноменологические модели становятся все более популярными, новых технологий, они эпистемически ставятся в один ряд с теоретическими моделями.

Наконец, инженерные модели иногда трактуются иначе, чем модели в естественных науках. Причина этого в том, что они задуманы как модели для «делать», а не «представлять». К сожалению эта дихотомия затмевает тот факт, что все виды моделей используются с определенной целью и в этом отношении они предназначены для «действия», так и для «представления». Более того, думая таким образом, предполагает различие между научной и технической, которое в области компьютерного моделирования, похоже, очень много разворилось. Где же социология заканчивается, а инженерия начинается в симуляции, реализующей модель Шеллинга. модель разделения? Конечно, есть науки, а есть инженерия, и во многих случаях эти две обширные дисциплины можно хорошо различать.¹¹ Также много перекрестков. Я полагаю, что компьютерные симуляции лежат в одной из таких пересечений. По этой причине и в остальной части этой книги рассматриваются научные модели и модели двигателей аналогичным образом.¹²

2.2 Компьютерное моделирование

2.2.1 Компонентный компьютерного моделирования

В предыдущей главе я сузил класс представляющих интерес компьютерных симуляций до симуляций, основанных на уравнениях. Уильям Оберк ампл, Тимоти Г. Трукано и

¹⁰ Среди международных групп, работающих над моделями данных обсерваторий, есть Международная Альянс виртуальных обсерваторий (Альянс 2018 г.); анализ межзвездной среды изолированных галактик (AMIGA) (межзвездная среда изолированных галактик, 2018 г.)

¹¹ Особенно это касается материальных моделей. Например, канцелярская модель Canadarm включал понятие, которое было характерным для включения для техники и науки. Но большая часть этого была смесью ют-юта и другого. Однако именно с механической точки зрения она без ошибок становится инженерным эффектом. В этом вопросе большая часть тяжелой работы философии техники и выполняется.

¹² Хорошую работу по пониманию моделирования в инженерии можно найти в (Meijers 2009), особенно Часть IV: Моделирование в технических науках.

Чарльз Хирш обращает внимание на то, что род компьютерные симуляции в «вынуждают инженерии и физике», которая включает, среди прочего, вынуждают ную динамику, вынуждают ную механику твердого тела, структурную динамику, физику ударных волн и вынуждают ную химию. компьютерное моделирование

таким образом, чтобы подчеркнуть их двойную зависимость. С одной стороны существует зависимость от естественных наук, математики и техники. С другой стороны они полагаются на компьютеры информатику и компьютерную архитектуру. Моделирование, основанное на уравнениях, конечно же, распространяется на другие области исследований. в

В науках о жизни, например, моделирование на основе уравнений играет важную роль в синтезической биологии, а в медицине был достигнут невероятный прогресс с клиническими исследованиями *in-silico*. испытания. Можно также упомянуть о многочисленных симуляциях, выполненных в области экономики и социологии.

Философы значения этой степени привнесли важность изучения методологии компьютерного моделирования для понимания их места в научных и инженерных исследованиях. Эрик Уинсберг считает, что доверие к компьютеру симуляция исходит не только из полномочий, предоставленных ей теорией, но также и, возможно, значения этой степени от принятых авторитетов в моделировании. Методы использованные при построении симуляции.¹⁴ Точно так же Маргарет Моррисон считает, что репрезентативные неточности между моделями моделирования и математическими модели могут быть решены на различных этапах моделирования, так как как калибровка и тестирование.¹⁵ Кроме того, Йоханнес Ленхард убедительно утверждает, что Процесс имитационного моделирования принимает форму исследований ского сотрудничества между экспериментированием и моделированием (Lenhard 2007). Я убежден, что Уинсберг, Моррисон и Ленхард правы в своих интерпретациях. Уинсберг прав, указывая из того, что надежность компьютерных симуляций имеет различные источники, и поэтому не может быть ограничена теоретической моделью из которой исходят симуляции. Моррисон прав, убеждая нас в том, что репрезентативная способность симуляции Модель также может быть рассмотрена на этапах моделирования. И Ленхард прямо указывает на то, что автентичность компьютерного моделирования от моделей, данных и явления.

Принимая во внимание, что некоторые исследователи используют для моделирования «готовые» компьютерные программное обеспечение, нередко можно найти многих других исследователей, разрабатывающих и программирование собственных симуляций. Причина в том, что программирование собственных симуляций приносит не только интеллектуальное удовлетворение, но и хорошие результаты эпистемические причины для этого. Уставая в дайване и программировании компьютерных симуляций, исследователи узнают, что проектируется и реализуется, и, следовательно, они имеют лучшее представление о том, чего следует ожидать в сточке зрения ошибок, неопределенностей и т.п. На самом деле, чем больше вовлечены исследователи, в разработке, программировании и реализации компьютерного моделирования, тем лучше результаты понимания своих симуляций.

¹³ Это можно найти в (Oberkampff, Trucano, and Hirsch 2003).

¹⁴ См., например, его работу в (Winsberg 2010).

¹⁵ Подробнее об этих идеях см. (Morrison 2009).

Есть два общих источника, которые подпитывают методологию компьютерного моделирования. С одной стороны существуют формальные правила и систематические методы позволяющие формальная эквивалентность математических моделей и имитационных моделей. Это иллюстрируется некоторыми методами дискретизации, позволяющими преобразовывать непрерывные функции в свои дискретные аналоги. Примеры методов дискретизации: метод Рунге-Кутты, метод Эйлера.¹⁶ Существует также множество формальных языков разработки, предназначенных для анализа проектов и определения ключевых характеристик моделирования, включая ошибки и искажения. Такие языки, как нотация Z, VDM или LePUS3, обычно используются некоторыми формальными семантиками языка программирования (т.е. денотационная семантика, операционная семантика и аксиоматическая семантика) для разработки компьютерного моделирования и компьютерного программного обеспечения в целом.

Второй источник методологии компьютерного моделирования имеет более практический уют орону. Дизайн и программирование компьютерных симуляций зависят не только от формального механизма, но и полагаются на так называемые экспертные знания (Коллинз и Эванс 2007). К таким знаниям относятся «уловки», «ноу-хау», «прошлый опыт» и множество неформальных механизмов проектирования и программирования их симуляций. Нелегко определить форму и использование такого знания, поскольку оно зависит от многих факторов, таких как сообщества, институциональное образование. Шари Лоуренс Пфлигер и Джоанн М. Эти сообщают, что эксперты, присутствующие исключительно в жизни компьютерного программного обеспечения, тем не менее субъективные знания от текстовой доступной информации, такой как доступные данные и фактически ее состояние работ и программной единицы.¹⁷ В этом контексте неудивительно, что многие решения о компьютерном программном обеспечении, которые радикально принимались экспертами, исследователям в настоящее время выполняются автоматизированными алгоритмами.

Синтез этих двух источников заключается в использовании хорошо документированного программного обеспечения. Пакеты С одной стороны многие из этих пакетов были официально проверены с другой стороны команды участвующие в их разработке, являются экспертами в данной области. В качестве примера можно привести генераторы случайных чисел, лежащие в основе статистического анализа симуляций, такие как симуляций Монт-Карло. Для этих программных пакетов это важно формально полагаться, что они ведут себя именно так, как было указано, ибо в таком образом исследователи узнают пределы функциональности —нижнее и верхнее генерируемые псевдослучайные числа —возможные ошибки, повторы и тому подобное. Выбор Правильный механизм генерации случайных чисел является важным проектным решением, поскольку это зависит от этого зависит результат.¹⁸

Два упомянутых выше источника присутствуют на многих этапах проектирования и программирования компьютерного моделирования. Пренебрегать неформальной рутинной, например, приводит к ложному представлению о том, что существует аксиоматический метод построения компьютерные симуляций. Аналогичным образом, неспособность признать наличие систематического и формальные методы приводят к тому, что компьютерное моделирование рассматривается как неструктурированное, необоснованная дисциплина. Таким образом, задача состоит в том, что обыграть роль, которую играет каждый игрок в сложной деятельности, что является методологией компьютерного моделирования. Это

¹⁶ Обсуждение методов дискретизации см. в (Atkinson, Han, and Stewart 2009), (Gould,

Тобочник, Кристин, 2007) и (Бутчер, 2008) среди прочих в очень большом количестве литературы.

¹⁷ Подробнее о живом цикле компьютерного программного обеспечения см. (Pfleeger and Atlee 2009).

¹⁸ Классические примеры этой теме являются (Knuth 1973) и (Press et al. 2007).

Так же верно и то, что, несмотря на множество способов проектирования и программирования компьютерных симуляций, существует стандартизированная методология, которая обеспечивает основу для многих компьютерных симуляций. Трудно представить себе группу ученых и инженеров, меняющих свои общие методологии каждый раз, когда они проектируют и программируют новую компьютерную симуляцию. Можно сказать, что методология компьютерного моделирования опирается на идеалистические тенденции и поведения, надежность, устойчивость и приемственность в дизайне и программировании.¹⁹

Далее я обсуждаю методологии компьютерного программного обеспечения в целом и компьютерного моделирования в частности.²⁰ Идея состоит в том, чтобы получить общий обзор того, что включает в себя типичная имитационная модель, и что значит быть компьютерной симуляцией. Я также коснусь некоторых вопросов, привлечших внимание философов. Я надеюсь, что к концу этого раздела мы убедимся, что компьютерное моделирование представляет собой новую единицу анализа для наук и техник.

2.2.1.1 Технические характеристики

Каждый научный инструмент требует разъяснения его функциональности и работоспособности, дизайна и ограничений. Изложенная здесь информация представляет собой спецификацию этого научного инструмента. Возьмем, к примеру, стеклянный ртутный термометр со следующими характеристиками:

1. Вставте ртуть в стеклянную колбу, прикрепленную к стеклянной трубке узкого диаметра; объем ртуть в трубке должен быть намного меньше объема в колбе; калибровать метки на трубке, которые меняются в зависимости от подвешиваемого тела; заполнить пространство над ртутью азотом.
2. Этот термометр можно использовать только для измерения жидкостей, температурой и погодой он не может измерять выше 50 °C или ниже -10 °C; имеет интервал 0,5° C между значениями и точность $\pm 0,01^\circ \text{C}$; ртуть в термометре затвердевает при $-38,83^\circ \text{C}$; 3. Инструкции по правильному

использованию термометра: вставьте ртутную трубку, расположенную на конце термометра, в измеряемую жидкость (под мышкой или снаружи, но не под прямыми солнечными лучами), найдите значение, указанное на высотной шкале баритак далее.

¹⁹ Хорошим примером этого, но на уровне компьютерного оборудования, является архитектур фон Неймана, которая была стандартом в проектировании компьютеров с момента его доклада 1945 года (von Neumann 1945). Естественно, необходимо также принимать во внимание модификации, внесенные в архитектуру компьютера, выявленные технологическими изменениями.

²⁰ Позвольте мне заметить, что, хотя я представляю только три компонента компьютерного моделирования, возможность иметь до шести уже обсуждалась. Джузеппе Примьеро выделяет до шести «уровней абстракции», на которых исследуются вычислительные системы именно: намерение, спецификация, алгоритм, инструкция и язык программирования высокого уровня, операция ассемблера/машинного кода, выполнение (Primiero 2016). Существует множество философских подходов к природе спецификации, алгоритмов и компьютерных процессов, которые я не буду обсуждать. Краткий список ссылок, безусловно, будет включать (Copeland 1996; Piccinini 2007, 2008; Primiero 2014; Zenil 2014).

В дополнение к этим спецификациям мы бы не знали соответствующую информацию о элевой системе. В случае с термометром может быть полезно знать, что вода меняет состояние с жидкого на твердое при 0 °C; что если жидкость не изолирована должным образом, то измерение может быть смещено из-за другого источника температуры, что нулевой закон термодинамики оправдывает измерение физических свойств «температура» и так далее.

Наряду с изложением необходимой информации для построения прибора, спецификация также имеет основополагающее значение для установления надежности прибора и правильности его результатов. Любое неправильное использование термометра, то есть любое использование, явно нарушающее его технические характеристики, может привести к неточным измерениям. И наоборот, скажем, что термометр выполняет требуемое измерение, что измерение является точным и точным, и что полученные значения являются надежными измерениями, означает также сказать, что измерение было выполнено в рамках спецификации, данных термометром производителем.

Неподтвержденный случай неправильного использования инструмента был поднят Ричардом Фейнманом во время его работы исследователем коммунитет, расследующим катастрофу «Челленджера». Он вспоминает следующий разговор с производителем инфракрасного сканирующего пистолета:

Сэр, ваш сканирующий пистолет не имеет никакого отношения к аварии. Люди здесь использовали его способом, противоречащим процедурам в ваших руководствах по эксплуатации, и я пытаюсь выяснить, сможем ли мы воспроизвести ошибку и определить, как температура была на самом деле в тот день. Для этого мне нужно больше узнать о вашем инструменте. (Фейнман 2001, 165-166)

Ситуация, вероятно, была очень пугающей для производителя, так как он мог подумать, что сканирующий пистолет работает не так, как указано. На самом деле это было не так. Вместо этого именно материал, использованный в уплотнительных кольцах шаттла, стал менее устойчивым в холодную погоду, следовало бы, не обеспечивал должной герметизации и в необязательно холодный день на мысе Канаверал. Дело здесь в том, что для Фейнмана, как и для любого другого исследователя, спецификация является ключевой информацией о правильной конструкции и использовании инструмента.

Понимаемые таким образом спецификации выполняют методологическую роль, а также эпистемическую функцию. С методологической точки зрения он работает как «чертеж» для проектирования, изготовления и использования инструмента. Эпистемически говоря, он работает как хранилище и хранилище наших знаний об инструменте, его потенциальных результатах, ошибках и т.д. В этом контексте спецификация преследует двойную роль. Он предоставляет соответствующую информацию для построения инструмента, а также понимание его функциональности. На приведенном выше примере с термометром пункт 1 иллюстрирует, как сконструировать термометр, в том числе как его калибровать; точка 2 иллюстрирует верхнюю и нижнюю границы в конструкции термометра и может быть использован как надежный прибор; пункт 3 иллюстрирует правильное использование термометра для успешных измерений.

В контексте компьютерного моделирования²¹ спецификация играет ту же роль, что и инструменты, они представляют собой описания поведения, компонентов и возможностей.

²¹ Заметим, что различия между спецификацией компьютерного моделирования и любым другим компьютерным программным обеспечением минимальны. Это связано с тем, что компьютерное моделирование является своего рода компьютерным программным обеспечением. В этом отношении наиболее конкретное различие заключается в типе реализации модели.

связи компьютерного моделирования в соответствии с целевой системой. Брайан Кант уэлл Смит, философ, интересующийся основами вычислительной техники, определяет ее как «формальное описание на некотором стандартном формальном языке, заданное в терминах модели, в котором описывается желаемое поведение». (Кант уэлл Смит 1985, 20). Используемый пример — система доставки молока, которая может быть минимально определена как молочная система. Автомобиль доставки, который посещает каждый магазин, проезжая в сумме кратчайшее расстояние.

Давайте остановимся здесь на мгновение и проанализируем определение Кант уэлл Смита. Хотя освещая, это определение не охватывает то, что исследователи сегодня называют «спецификацией». Этому есть две причины. Во-первых, это редукционизм. Во-вторых, она недостаточна инклюзивна. Он редуктивен, потому что понятие спецификации отожествляется с формальным описанием поведения целевой системы. Это значит, что предполагаемое поведение симуляции описывается в терминах формального механизма. Однако программная инженерия ясно показала, что спецификации или не могут быть полностью формализованными. Скорее, их следует рассматривать как некоторую форму «полумформального» описания поведения компьютерной программы. В этом последнем смысле формальное, а также неформальные описания сосуществуют в спецификации. Другими словами, математический и логический формулы сосуществуют с проектными решениями на простом естественном языке, ad-hoc решения вычислительной управляемости и тому подобное. Вместе с документацией для компьютерного кода, комментарии исследователей к нему и так далее. Хотя есть общее согласие в том, что полная формализация спецификации является желательной целью, не всегда достижимая, особенно для чрезвычайно сложных спецификаций, что предполагает компьютерное моделирование.

Определение не является достаточным всеобъемлющим в том смысле, что указание надлежащего поведения симуляции не зависит от того, как она реализована. Спецификация не только описывает предполагаемое поведение моделирования в соответствии с целевой системой, но также включает в себя практические и теоретические ограничения физического компьютера. Это означает, что заботы вычислительности, производительности, эффективности и устойчивости физического компьютера обычно также являются частью спецификации моделирования. В приведенном выше примере моделирования доставки молока спецификация фиксирует только общие аспекты целевой системы, которые, скорее, более важны для исследователя, независимо от деталей того, как молоко фактически осуществляется. Это правильно. Помимо этого ограничения должны быть добавлены учет физических возможностей компьютера. В результате спецификация будет заполнена новыми сущностями и отношениями, альтернативными решениями проблемы под рукой, и в целом другой подход, чем чисто формальное решение предоставил бы.

Более точное представление о том, что представляют собой спецификации, дает Шари Пфлегер и Джоанн Элли. Это математический и учебный компьютерщик и считал, что любой спецификация программы сводится к описанию внешних видимых свойств в программной единице вместе с функциями доступа к системе, параметрами, возвращаемыми значениями и исключениями. Другими словами, спецификация заботится как о смоделированной цели, системы, так же программного блока.

а именно модель, описывающая целевую систему, предназначенную для общенаучных и инженерных целей.

²² См. (Пфлегер и Элли, 2009 г.).

Существует ряд общих атрибутов и функций, которые обычно включаются в качестве частей спецификации. Ниже приводятся краткий список:

Цель: документировать функциональность каждой функции и доступа, модификацию переменных, доступ к вводу-выводу и т. д. Это должно быть сделано достаточно подробно, чтобы другие разработчики могли определить, какие функции соответствуют их потребностям.

Предварительные условия: это допущения, которые включены в модель и которые должны быть доступны для других разработчиков, чтобы они знали, при каких условиях модуль работает правильно. Предусловия включают значения входных параметров, состояние глобальных ресурсов, другие программные блоки и т. п.;

Протоколы это включают информацию о порядке, в котором функции доступа должны взаимодействовать с механизмом обмена сообщениями между модулями и т. д. Для примера, модуль, обращающийся к внешней базе данных, должен быть надлежащим образом авторизован;

Постусловия: документируются все возможные виды эффектов доступа к функциям, включая возвращаемые значения, исключения, выходные файлы и т. д. Важно, потому что они сообщают ব্যব্যাক্ষему коду, как правильно реагировать на данную вывод функций;

Атрибутика есть это: это видимость производимости и надежность модели разработчиков и пользователей. В примере с орбитальными спутниками вокруг планетыв раздел 1.1, пользователи должны указать переменную ДОПУСК, т. е. максимальная абсолютная ошибка, которая может быть допущена в любой позиционной координате. Если это устанавит слишком низкое значение, программа может стать очень медленной;

Проектные решения: спецификация также является местом, где политические, этические и проектные решения реализуются в рамках имплементационной модели.

Обработка ошибок: важно указать рабочий поток программного модуля и как вести себя в нештатных ситуациях, таких как неверный ввод, ошибки во времени вычисления, обработка ошибок и т. д. Функциональные требования спецификации должны четко указывать, что должно делаться моделирование в этих ситуациях. Хорошей спецификация должна следовать определенным принципам надежности, правильности, полноты стабильности и аналогичным требованиям.

Документация: любая дополнительная информация также должна быть задокументирована в спецификации, например, особенности использования языков программирования, библиотек, связей, поддерживаемых структурами, реализуемые дополнительные функции и т. д.;

Вот некоторые, как и в случае с научными инструментами, спецификация и играют две центральные роли. роли: они играют методологическую роль в качестве плана для дизайнера, программирования, и реализации моделирования. В эту роль входит связывание представлений и знаний о целевой системе с знаниями об объекте.

компьютерная система (т.е. архитектура компьютера, ОС, язык и программирования и т.д.). Это означает, что спецификации помогают «соединить» эти два вида знаний. Это, конечно, не как ая-то жуткая или загадочная связь, а скорее основа профессиональной деятельности и компьютерных ученых и инженеров: моделирование должно быть задано как можно более подробно, прежде чем оно будет запрограммировано в алгоритм, так как это экономит время, деньги, ресурсы, что более важно, уменьшает наличие ошибок, искажений и вероятности просчетов.

Она также играет эпистемологическую роль в том смысле, что спецификации являются хранилищем и хранилищем наших знаний о целевой системе, как только что упоминалось, так же и о программном модуле. В этом смысле спецификации являются когнитивно прозрачной единицей в том смысле, что исследователи всегда могут понять, что в них описано. Фактически можно утверждать, что это самый прозрачный блок в компьютерном моделировании. Это сразу видно при сравнении с алгоритмом и компьютерным процессом: первый, хотя и достаточный познательный, написан на компьютерном языке программирования, непригодном для понимания человеком; последний, с другой стороны, скрывает любой доступ к компьютерному моделированию его развитаго течением времени.

Примером является моментальный пример. Рассмотрим спецификации простой симуляции, такой как симуляция орбитального спутника в условиях приливного стресса, описанного в разделе 1.1. Возможная спецификация включает информацию о поведении спутника, например, о том, что он вытянут вдоль радиус-вектора. Она также включает возможные ограничения для моделирования. Вулфсон и Пертук утверждают, что если орбита не является круговой, то напряжение на спутнике является переменным, и поэтому он периодически расширяется и сжимается вдоль радиус-вектора. Из-за этого, а также из-за того, что спутник не является абсолютно упругим, будут возникать эффекты резонанса, и некорректная механическая энергия будет преобразовываться в тепло, которое излучается. Интересное специализированное решение проблемы упругости спутника состоит в представлении его тремя массами, каждая из которых имеет одинаковую увеличенную и соединенную пружинами одинаковой недеформированной длины. Естественно, в спецификации упомянуты и ряд уравнений²³.

Затем эти и другие элементы должны быть включены в спецификации совместно с некоторой информацией о физическом компьютере. Простым примером этого последнего пункта является то, что массу Юпитера нельзя представить на компьютере, архитектура которого основана на 32-битной системе. Причина в том, что масса Юпитера составляет 1,898×10²⁷ кг, а такое число может быть представлено только в 128 битах или выше.

Продолжим теперь изучение алгоритма, то есть логической структуры, отвечающей за интерпретацию спецификации на подходящем языке программирования.

2.2.1.2 Алгоритмы

Большую часть нашей повседневной деятельности можно описать как простые наборы правил, которые мы систематически и повторяем. Мы просыпаемся в определенное время утром, чтобы умыться.

²³ Более философские вопросы спецификаций см. в (Turner 2011).

принять души сестры на автобус на работу. Мы конечно, изменяем наш распорядок, но ровно настолько, чтобы обидеть его в чем-то более выгодным: он дает нам больше времени в постели, он минимизирует расстояние между остановками, он удовлетворяет всех в доме.

В каком-то смысле эта процедура передает смысл того, что мы называем алгоритмом, поскольку она систематически и повторяет набор чужих определенных правил снова и снова. Жан-Лик Шабер, историк, посвятивший много времени понятию алгоритма, определяет его как «набор шаговых инструкций, которые должны выполняться совершенно механически для достижения желаемого результата» (Chabert 1994, 1). Подпрограмма — это своего рода алгоритм, или, если быть более точным, она может быть превращена в алгоритм. Но сама по себе это не алгоритм. Нам необходимо, следовательно, уточнить это понятие.

Давайте сначала признаем, что понятие алгоритма существовало задолго до того, как было придумано слово для его описания. На самом деле алгоритмы имеют всепроникающую историю: восходящую к вавилонянам и их использованию для расшифровки пунктов 3, она, учитывая латини, которые использовали алгоритмы для разработки грамматик и, ясно видящим для предсказания будущего. Их популярность начинается с математик и — метод Эйлера и Рунге-Кутты и ряды Фурье — лишь несколько примеров — и распространяется на информатику и инженерии. На этой последней остановке лежит наш интерес к алгоритмам. Коротко говоря, для нас алгоритм является синонимом компьютерного алгоритма.

Теперь компьютерные алгоритмы основаны на идее, что они являются частью систематической, формальной и конечной процедуры — математической и логической — для реализации определенных наборов инструкций. Шабер, заимствуя из Британской энциклопедии, определяет их как «систематическую математическую процедуру, которая дает — за конечное число шагов — ответ на вопрос или решение проблемы» (2). Таким образом, в соответствии с этой интерпретацией следующая система частиц в ячейках без столкновений, представленная Майклом Вулфсоном и Джеффри Пертом, квалифицируется как алгоритм.

1. Построить удобную сетку в одно-, двух- или трехмерном пространстве, в пределах которой можно определить систему. [...]

2. Определить количество суперчастиц, как электронов, так и ионов, и присвоить им позиции. Чтобы получить как можно меньше случайных флуктуаций полей, необходимо иметь как можно больше частиц на ячейку. [...]

3. Использовать плотность и в узлах сетки, уравнение Пуассона: $\nabla^2 \phi = \rho/\epsilon_0$

...

25 Н. Если общее время симуляции не превышено, вернуться к пункту 3.

²⁴ Слово «алгоритм» имеет интересное этимологическое происхождение. Записи показывают, что это слово частично происходит от аль-Хорезми, персидского математика девятого века, автора старейшего из известных трудов по алгебре. Миртак же происходит от латинского *algorithmus* и древнегреческого *αριθμός*, что означает «число».

²⁵ Более подробное обсуждение этапов процесса для численного электромагнитического полей может быть найдено здесь (Woolfson and Pert 1999, 115).

Привнимательном рассмотрении видно, что пример включает математический аппарат, а также утверждения на простом английском языке. В некотором смысле это больше похоже на спецификацию системы, а не на язык, в котором без столбцов новений, чужда правильный компьютерный алгоритм. И все же он квалифицируется как алгоритм согласно определению Шабера. Нам нужно более точное определение.

В 1930-х годах концепция компьютерного алгоритма была популяризирована в контексте компьютерного программирования. В этом новом контексте понятие перешло от описания изменения по сравнению с его первоначальной математической формулировкой, особенно в базовом языке: от математических множеств синтаксических и семантических конструкций. Однако это было еще не все. Шорт-лист с новыми функциями включает в себя:

1. Алгоритм определяется как конечный и организованный набор инструкций, предназначенных для решения проблемы и которые должны удовлетворять определенным наборам условий;
2. Алгоритм должен быть написан на определенном языке; 3. Алгоритм — это процедура, выполняемая шаг за шагом; 4. Действие на каждом шаге строго определяется алгоритмом, входные данные и результаты полученные на предыдущих этапах;
5. Какими бы ни были входные данные, выполнение алгоритма прекратится через конечное число шагов; 6. Поведение алгоритма физически реализуется во время реализации на компьютере.²⁶

Следует отметить, что многие структуры информатики и техники в равной степени успешно квалифицировались как алгоритмы такими характеристиками. Псевдокод (например, алгоритм 1) — наш первый пример. Это описание, которое удовлетворяет большинству вышеперечисленных условий, за исключением того, что они не реализуемы на физической машине. Причина в том, что они в первую очередь предназначены для чтения человеком с примесью формального синтаксиса. Из-за этого псевдокод должен вступить в спецификации целевой системы так как они облегчают переход к алгоритму.²⁷

²⁶ Это не только, но не все характеристики, приписываемые алгоритмам Шабера. Еще подробней описания ориентированных алгоритмов можно найти в (Chabert 1994, 455).

²⁷ Для подробного обсуждения различных понятий алгоритма см. дискуссии между Робинсом Хиллом (Hill 2013, 2015) и Эндрю Блассом, Нахумом Дершовицем и Юрием Гуревичем (Blass and Gurevich 2003; Blass, Dershowitz, and Gurevich 2009). Здесь нам действительно нужно углубиться в онтологические философские рассуждения.

Алгоритм 1 Псевдокод

Псевдокод — это неформальное высокоуровневое описание спецификации. Он предназначен для того, чтобы сосредоточиться на рабочем поведении алгоритма, а не на конкретном синтаксисе. В этом смысле он использует язык, аналогичный языку программирования, но в очень широком смысле, обычно опуская детали, которые не важны для понимания алгоритма.

Требуется: $n \geq 0, x \neq 0$

Убедитесь: $y = x^{n+1}$

1
у, если $n < 0$, то

$x = 1/x$

$n = -n$

иначе

$x = x$

$n = n$

end if

while $n \neq 0$ do

 если n четное то

$xx = x$

$n = n/2$

иначе { n

 нечетное} $yy = x$

$n = n - 1$

конец,

если конец, пока

Что еще всего понятие алгоритма адаптируется к языку программирования.

Теперь, поскольку во вселенной языков программирования значительно велика, для наших целей достаточно одного примера каждого вида. Затем я рассматриваю Fortran, Java, Python и Haskell как четыре представляющих языков программирования. Первый — пример императивного языка программирования (см. алгоритм 2); второй — объектно-ориентированный язык программирования (см. алгоритм 3); Python — хороший пример интерпретируемого языка (см. алгоритм 4); а Haskell — образец функционального программирования (см. алгоритм 5).

Алгоритм 2 Fortran

Fortran — это императивный язык программирования, который особенно подходит для числовых вычислений и научных вычислений. Он довольно популярен среди исследователей, работающих с компьютерным моделированием, поскольку формулы легко реализуются, а производительность вычислений остается высокой. Благодаря своей универсальности и эффективности Fortran стал доминировать в областях с интенсивными вычислениями, таких как численное прогнозирование погоды, анализ методом конечных элементов и вычислительная гидродинамика. Это также очень популярный язык в высокопроизводительных вычислениях.

Программа GCD вычисляет наибольший общий делитель между двумя целыми числами, введенными пользователем.

программа НОД

неявное нет

целое :: a, b, c

write(*,*) 'Дайте мне два положительных целых

числа: ' read(*,*)

a, b если (a < b), то

c=a

a=b

b=c

конец, если

делить

c = MOD(a, b) if (c

== 0) exit a=bb=c

end

do

write(*,*)

'GCD is ', b конец программы GCD

 Алгоритм 3 JAVA Java —

язык программирования общего назначения. Несмотря на его основные характеристики заключаются в том, что он является параллельным, основанным на классах, объектно-ориентированным и специально разработанным, что обильно как можно меньше зависимости от реализации. Это последний пункт сделал Java популярным языком программирования, поскольку у его приложения обычно компилируются один раз и запускается на любой виртуальной машине Java, независимо от архитектуры компьютера.

Функция gcd вычисляет сумму двух целых чисел, введенных пользователем:

```
package CNIP;
import java.util.Scanner;

открытый класс addTwoNumbers
    частный статический сканер
    sc; public static void main(String[] args) int
        Number1, Number2, Sum; sc = новый
        сканер(System.in);

        System.out.println("Введите первое число: "); a = sc.nextInt();

        System.out.println("Введите второе число: "); b = sc.nextInt();

        сумма = a + b;
        System.out.println("Сумма = " + сумма);
```

 Алгоритм 4 Python Python

—это широко используемый язык программирования высокого уровня, используемый для программирования общего назначения. Это один из многих интерпретируемых языков, доступных сегодня. Одной из философий дизайна Python является читабельность кода, обеспечиваемая за счет использования отступов с пробелами для разграничения блоков кода. Он также использует удивительно простой синтаксис, который позволяет программистам выражать сложные концепции в меньшем количестве строк кода.

Функция gcd вычисляет наибольший общий делитель двух целых чисел, введенных пользователем:

```
def gcd(a, b): a =
    abs(a) b =
    abs(b) , a b:

        a, b = b, a % b
    вернуть _
```

Алгоритм 5 Хаскель

Haskell — это стандартизированный, чисто функциональный язык программирования общего назначения с нестрогой семантикой и строгой статической типизацией. Быть функциональным языком означает, что Haskell рассматривает вычисления как оценку математических функций. В этом отношении программирование на Haskell выполняется с помощью выражений или объявлений вместо операторов — в отличие от императивного программирования. Хаскелл функционален вычислениям, сопоставления с образцом, понимания списков, классов типов и полиморфизмов. Одной из основных характеристик функций в Haskell является то, что они не имеют побочных эффектов, то есть результат функции определяется ее входом и только по его вводу. Таким образом, функцию можно вычислять в любом порядке, и они всегда будут вернуть тот же результат при условии, что передан тот же ввод. Это главное преимущество функционального программирования, которое значительно упрощает поведение программы легче понять и предсказать.

Функция plus прибавляет 1 к 2 и возвращает результат:

```
plus :: Int -> Int -> Int
plus = (+)
```

```
главное = делат
        пусть res = plus 1 2
        положитьStrLn $ " 1+2 = " ++ показать разрешение
```

Алгоритмы имеют несколько характеристик, на которые стоит обратить внимание. С онтологической точки зрения алгоритм представляет собой синтаксическую структуру, кодирующую информацию узла в спецификацию. Как я расскажу позже в этом разделе, ряд технических и практических причин алгоритмы могут закодировать всю информацию изложенную Спецификация. Вернее, как аята информация будет добавлена, как аята оптерятся, а как аята будет просто изменен.

Заметим также, что исследования в области информатики используют понятия синтаксиса и семантики несколько иначе, чем в лингвистике. Для информатики, синтаксис — это изучение символов и их взаимоотношений в формальной системе; обычно он включает грамматик (т.е. последовательность символов в виде правильных формул), и теорию доказательств (т.е. последовательности правильных формул, которые считаются теоремами). С другой стороны семантика — это изучение отношений между формальной системой, которая синтаксически определена, и семантической областью, которая определяет домену, обеспечивающим интерпретацию символов в синтаксическом домене. В случае реализации алгоритма на ЭВМ семантической областью — физическое состояние компьютера при выполнении запрограммированных в алгоритме инструкций. Я называю и физическое состояние компьютера. процесс, и он будет обсуждаться в следующем разделе.

Два других интересующих онтологических свойства заключаются в том, что алгоритм является абстрактными формальными. Он абстрактен, потому что состоит из строк и символов без физического действующих на них причинных отношений: точно так же, как логикоматематическая структура,

горит и причино-инертен и оторван от пространства-времени. Он формальный, потому что то следует за логикой, и оторывающаяся, как систематическая манипуляция символами.²⁸ Эти онтологические особенности предлагают несколько интересных эпистемологических преимуществ, два из которых занимают философов и специалистов по информатике особенно активно. Это синтаксическая корреляция и перенос синтаксиса. Синтаксическая корреляция — это возможность поддерживать эквивалентность между двумя алгоритмическими структурами. Перенос синтаксиса, с другой стороны, состоит в изменении алгоритма, чтобы заставить его выполнять другую функцию. Позвольте мне подробнее остановиться на каждом.

Синтаксическую корреляцию можно прояснить на примере из математики. Рассмотрим декартову систему координат и полярную систему координат. Существует хорошо известная связь между этими системами координат. Если мы хотим преобразования, помогающие установить эквивалентность.

Учитывая декартовы координаты (x, y) , их эквивалентные полярные координаты (r, θ) можно без особых усилий найти и наоборот. Тогда, имея набор полярных координат (r, θ) , можно без особых усилий найти и наоборот. Тогда, имея набор полярных координат (r, θ) , можно без особых усилий найти и наоборот. Тогда, имея набор полярных координат (r, θ) , можно без особых усилий найти и наоборот.

Аналогичная идея может быть использована в алгоритмах. Рассмотрим следующее извлечение алгоритма и его эквивалента в алгоритме 7. Мы знаем, что оба они логически эквивалентны, потому что то существует формальное доказательство этого (данное в таблице истинности 2.1).³⁰

Алгоритм 6,
... если (a), то {a}, иначе {b} ...

²⁸ Для получения дополнительной информации см. работы Дональда Э. Кнута и Эдгера В. Дейкстры (Knuth 1974), (Knuth 1973) и (Dijkstra 1974). Оба автора признаны рупными учеными развития компьютерных наук как серьезной дисциплины. Кнут также является автором книги «Искусство компьютерного программирования», четвертого издания (по состоянию на 1996 год), который охватывает многие виды алгоритмов программирования и их анализ. Дейкстра, в свою очередь, является пионером и популяризатором компьютерных наук как академической дисциплины. Он помог заложить основы для зарождения и развития работ и программного обеспечения, а его работы заложили основу для многих областей исследований в области вычислительной техники, особенно в структурном программировании и параллельных вычислениях.

²⁹ Как видно из примера, при синтаксической корреляции возникает вопрос: «Насколько эквивалентны две системы уравнений?» Это не простой вопрос. В случае декартовой и полярной систем координат можно было бы возразить, что ограничения должны быть наложены на полярные системы координат, т.е. для функции угла область определения является все действительное число, например, где функция не определена, и, следовательно, они не являются изоморфными. Концепция ± 4 — это то, что происходит с лагранжианом и гамилтонианом, как я обсуждал ниже для алгоритма.

³⁰ Конечно, алгоритм представляет собой гораздо более сложную структуру, чем примеры, которые я здесь использую. Поэтому неудивительно, что эквивалентность между алгоритмами не может быть просто установлена с помощью таблицы истинности. Нужен действующий инструмент, который используется более сложный математический вычислительный аппарат. Один из стандартных подходов состоит в построении класса эквивалентности алгоритмов (Бласс, Дершовиц и Гуревин, 2009). Возьмем, к примеру, алгоритм сортировки и формулировку оторого заключения в том, что он возвращает упорядоченную перестановку входного списка для некоторого определения порядка. Показав, что данная функция имеет свойство возвращать упорядоченную перестановку — для одного и того же определения упорядочивания — можно утверждать, что оба алгоритма принадлежат к одному и тому же классу. Нахождение эквивалентности алгоритмов является центральным элементом многих процедур проверки программного и аппаратного обеспечения.

Алгоритм 7

... если (не- α), то $\{b\}$ иначе $\{a\}$...

Таблица 2.1 Таблица истинности эквивалентности и алгоритма 6 и

α	$\{a\}$	$\{b\}$
T	T	$\emptyset$
F	$\emptyset$	T

алгоритм 7.	$\neg \alpha$	$\{b\}$
T	$\emptyset$	T
F	T	$\emptyset$

Одно из эпистемологических преимуществ в синтаксическом корреляции заключается в том, что она расширяет число возможных эквивалентных реализаций для любого заданного компьютерного моделирования. Рассмотрим в качестве случаев лагранжу и гамильтонову системы уравнений, поскольку они коррелируют в динамических системах. Исследователи могут выбирать между той или иной формулировкой в зависимости от потребности, к которой не связаны с того с представлением целевой системы (например, понимание одной системы уравнений для данной целевой системы проще, чем другой, производительность моделирования ниже). Улучшенный с помощью любого набора уравнений и т.д.). Таким образом, исследователи больше не застревают на одном наборе уравнений, выясняя, как их реализовать, а вместо этого сосредотачивают усилия изоботына других аспектах моделирования, таких как производительность и простота. Возьмем, к примеру, следующий быстрый расчет. Для системы конфигурационным пространством размерности n уравнения Гамильтона представляют собой набор из $2n$ связанных QD первого порядка. Уравнения Лагранжа, с другой стороны, представляют собой набор n несвязанных QD второго порядка. Таким образом, реализация гамильтонова над лагранжианом может дать реальное преимущество с точки зрения производительности, использования памяти и скорости вычислений. Нечто очень похожее происходит, когда вручную ищут декартову и полярную системы координат.

Второй эпистемологической особенностью алгоритмов является перенос синтаксиса. Это относится к простоте идеи о том, что, добавляя или удаляя всего несколько строк кода в алгоритме, исследователи могут повторно использовать один и тот же код для различных репрезентативных контекстов. В таких случаях перенос синтаксиса предполагает минимальные изменения алгоритма. Очень просто случается можно проиллюстрировать, добавив к алгоритму 3 несколько строк для вычисления суммы 3 чисел, как показано в алгоритме 8. Отметим, что перенос синтаксиса является основополагающей идеей модулей и библиотек: очень похожий код может быть использован в разных, но родственных контекстах.

Таким образом, перенос синтаксиса позволяет исследователям повторно использовать свой существующий код, что бы приспособить его к различным контекстам, а также же обобщать код, что бы включить больше результатов, тем самым расширяя или сужая область применения алгоритма.

 Алгоритм 8 JAVA расширенный

пакет SNP;

импортировать java.util.Scanner;

открытый класс addThreeNumbers

частный статический

 сканер sc; public static void main(String[]
args) int Number1, Number2, Number3, Sum;

sc = новый сканер(System.in);

 System.out.println("Введите первое число: "); a =
sc.nextInt();

 System.out.println("Введите второе число: "); b =
sc.nextInt();

 System.out.println("Введите третье число: "); c =
sc.nextInt();

 сумма = a + b + c;
System.out.println("Сумма = " + сумма);

Корреляция синтаксиса и перенос синтаксиса являются обычными практиками среди исследователей, программирующих свои собственные симуляторы. Нередко можно увидеть, как одна и та же симуляция увеличивается и уменьшается, добавляя и удаляя одни модули, а также изменяя некоторые другие. Это частый стандартного обслуживания и улучшения кода. Теперь так же возможно, что перенос синтаксиса делает код слишком громоздким и, следовательно, его невозможно поддерживать без высоких затрат. Когда возникает такая ситуация, вероятно, пришло время для нового кода. В подобных случаях синтаксическая корреляция играет важную роль, поскольку у многие функции старого кода будут сохранены в должным образом модифицированном новом коде.

В связи с синтаксической корреляцией и переносом синтаксиса возникают некоторые философские вопросы. Наиболее заметным из них является вопрос «когда два алгоритма совпадают?» Вопрос возникает в контексте того, что синтаксическая корреляция и перенос синтаксиса предполагают модификации исходного алгоритма, ведущие к новому алгоритму. В случае синтаксической корреляции это происходит в форме нового алгоритма, выполняющего те же функции, что и старый алгоритм. В случае переноса синтаксиса это происходит в форме модифицированного — и, таким образом, строго говоря, нового — алгоритма.

Есть два общепринятых ответа на этот вопрос. Либо два алгоритма логически эквивалентны то есть два алгоритма структурно и формально

похожи,³¹ или они поведенчески эквивалентны, то есть два алгоритма ведут себя в похожая мода. Позвольте мне кратко обсудить эти два подхода.

Логическая эквивалентность — это идея о том, что два алгоритма структурно похожи, и что такую эквивалентность можно показать формальными средствами. Я иллюстрирую очень простой логический эквивалентности с помощью алгоритма 6 и алгоритма 7, поскольку оба они формально изоморфны друг другу — доказательство опять же в таблице 2.1. Формальные процедуры любой вид — например, таблица истинности — являются хорошими гарантиями структурного сходства.³² Такими образом, if ... then условное выражение в алгоритме 6 структурно эквивалентно условному выражению алгоритма 7.

К сожалению, логическая эквивалентность не всегда достижима из-за практических атак теоретическое ограничение. Примеры практических ограничений включают случаи, когда алгоритмы подпадают под формальную проверку человеком. Другой пример формальный. Процедуры отнимание слишком много времени и ресурсов. Примеры теоретических ограничений включают случаи, когда язык программирования, заданный в моделировании, не носит сущностей, операций и т.п., которые процедура проверки структурного сходства не может объяснить.

Чтобы справиться с этими ограничениями, научные круги и промышленность объединили свои усилия и создали множество инструментов, автоматизирующих процессы проверки и проверки. Хотя достаточно несколько средств проверки моделей и семантики, один мощный пример для проверки программного обеспечения используется ACL2. Выискиваемая логика для аппликативных Common Lisp (ACL2) был специально разработан для поддержки автоматических рассуждений. И, таким образом, помочь в реконструкции классов эквивалентности и алгоритмов.

Поведенческая эквивалентность, с другой стороны, состоит в обеспечении того, что оба алгоритма ведут себя сходным образом (например, выдавая одинаковые результаты³³). Сейчас, хотя поведенческая эквивалентность кажется более простой для достижения, чем структурная эквивалентность, она несет в себе некоторые собственные проблемы. Например, существует опасение, что поведенческая эквивалентность основана на индуктивных принципах. Это означает, что один может гарантировать эквивалентность только к до времени t , когда два алгоритма ведут себя одинаково. Но нет никаких гарантий, что в момент времени $t+1$ поведение алгоритмов останется прежним. Поведенческая эквивалентность может быть гарантирована только к до момента сравнения двух алгоритмов. На самом деле можно предположить, что два алгоритма

³¹ Изоморфизм был здесь лучшим вариантом, так как это единственный морфизм, который может гарантировать полную эквивалентность между алгоритмами. Однако альтернативные морфизмы также обсуждаются в Литературе, например, в работах (Бласс, Дершовиц, Гуревич, 2009) и (Бласс и Гуревич, 2003).

³² Для тех читателей, которые интересуются глубокими философскими дискуссиями, разъяснение понятия «структурное сходство» является обязательным. Здесь я полагаю, что можно объективно решить, когда тот или иной алгоритм структурно похож на другой. Литература по подобной вообще теоретическому предствлению весьма обширна. Предлагается начать с (Хамфрис и Имберт, 2012).

³³ Это при заданной интерпретации «тех же результатов», в противном случае мы можем задать вопрос, когда два набора результатов совпадают. С этой целью мы могли бы выбрать математическое и алгоритмическое процедуры внешне по отношению к двум сравниваемым алгоритмам, которые устанавливают приемлемое сходство. Средние результаты.

поведенческой эквивалентности только для этого выполнения алгоритмов. Дальнейшие исполнения могут показывать расхождение в поведении.³⁴

Последняя проблема, связанная с поведенческой эквивалентностью заключается в том, что она может скрывать логическую эквивалентность. Это означает, что два алгоритма расходятся в поведении, хотя они структурно эквивалентны. Примером может служить алгоритм, реализующий декартово набор координат, тогда как другой реализует полярные координаты. Оба алгоритма структурно эквивалентны поведенческой и различны.³⁵ В таких случаях остается вопрос о том, какая эквивалентность должна преобладать.

Вот некоторые из стандартных рассуждений, которыми можно найти в философии компьютеров. Наука. Здесь я только что арапал поверхность, и многое другое можно и нужно быть сказано. Однако урок, который хотел бы извлечь, заключается в том, что из аксиоматической корреляции и из переноса аксиомы приходятся платить. Готовы исследовать или платить эта цена — и насколько это высоко эта цена на самом деле — это вопрос, который зависит от нескольких их переменных, таких как интенсионность исследования, доступные ресурсы реальной срочности поиска решения. Для некоторых ситуаций готовые решения «из коробки» существуют; для других опытные исследователи по-прежнему остаются самой ценной валютой.

До сих пор мы обсуждали алгоритмы вместе с их философскими следствиями. Нам еще нужно кое-что сказать о связи между спецификацией и алгоритмом.

В идеале спецификация и алгоритм должны быть тесно связаны. Спецификация исследует полностью интерпретировать как алгоритмическую структуру. Действительность и это редко имеет место, главным образом потому, что спецификация интенсивно использует естественный язык, в то время как в алгоритме каждый термин нужно интерпретировать буквально. В качестве примера можно привести использование метафор и аналогий. Многие научные и инженерные модели включают в себя термины не имеющие определенного толкования, такие как «черная дыра» или «черная дыра». «Механизм» (Bailer-Jones 2009)³⁶. Метафоры и аналогии затем используются для заполнения пробелов, вносимых этими терминами, не имеющими буквального толкования. Поступая таким образом, метафоры и аналогии вводят некоторую воронку реакции, которую используют модели, с которыми не может соперничать буквально язык. Однако если отже метафорический термины реализованы алгоритме, в противном случае они требуют буквального толкования их нельзя выискивать.

Конечно, чтобы упростить интерпретацию спецификаций и алгоритмов, исследователи снова полагались на автоматизацию обеспечения компьютерами.

Для этого существует множество специализированных языков, формализующих спецификации

³⁴ Многие исследователи не хотят воспринимать как истиннообобщенность тот факт, что компьютерный код может иметь разное значение в зависимости от времени выполнения. Философ Джеймс Фетцер (Fetzer 1988) однажды поднял этот вопрос в контексте проверки программы. В ответ многие компьютерные ученые и инженеры возразили, что они мало знают о том, как на самом деле работает компьютерное программное и аппаратное обеспечение. Работа. Конечно, возражения были не просто индивидуальными, но содержали веские основания отвергнуть. Позиция Фетцера. В любом случае, Фетцер поднял подлинную философскую проблему, и ее следует рассматривать как таковой.

³⁵ Заметим, что это рассуждение зависит от понятия «поведение». Если это мы просто возьмем «абсолютно одинаковые результаты», два алгоритма явно отображают разные результаты.

³⁶ Мы должны быть осторожны здесь, потому что в таких случаях, как нейробиология, такие термины как «механизм», имеют полное определение (например (Machamer, Darden, and Craver 2000) и (Craver 2001)).

облегчая так изображение программного программирования в алгоритме. Общий язык алгебраических спецификаций (CASL), Венский метод разработки (VDM), Абстрактная спецификация поведения (ABS) и нотация Z — вот лишь несколько примеров.³⁷ Модель

проверяется так же полезна, поскольку она автоматизирует проверку, соответствующий алгоритм необходимая спецификация, и, следовательно, это так же помогает с ее интерпретацией. Суммируя, Интерпретация спецификаций в алгоритме имеет давнюю традицию математических, логических компьютерных наук и она сама делегирует собой окончательного проблема здесь.

Я так же упомянул, что спецификация включает неформальные элементы так же как экспертные знания и проектные решения, которые не являются интерпретируемыми формально. Однако, эти неформальные элементы так же должны быть включены — и включены правильно — в алгоритм, иначе они не будут частью вычислений модели. Представляют себе например, спецификация для моделирования системы голосования. Для этой симуляции чтобы добиться успеха, статистические модули реализованы так образом, чтобы разумное распределение голосующего населения. На этапе спецификации, исследователи решают придать больше статистическое значение и так им переменным, как пол, пол, и здоровье по сравнению с другими переменными, такими как образование и доход. Если это дизайнерское решение не запрограммировано в статистический модуль должным образом, то моделирование будет никогда не отражать значения этих переменных, несмотря на то, что они указаны в спецификации.

Этот пример призван показать, что алгоритм должен быть способен интерпретировать как формальные, так и неформальные элементы включенные в спецификацию в частности потому что не существует формальных методов интерпретации экспертных знаний, прошлого опыта и т.п.

Где это обсуждение оставляет нас на методологический вопрос к компьютерного моделирования? С одной стороны мылучше понимаем природу компьютерного моделирования как единичный анализ. С другой стороны мыимеем более глубокое понимание методология спецификаций, алгоритмы их связь.

Прежде чем продолжить, позвольте мне пояснить некоторые термины которые я использовал. Назовите компьютерной моделью весь процесс описания и программирования данной компьютерной системы. Если цель юзаккой модели является моделирование целевой системы то назовем ее имитационная модель. Единственные видимые различия между этими двумя заключается в том, что первое является обобщенной версией второго. Более существенные различия возникнут при обсуждении эпистемологических и практических вопросов в следующем главе. Кроме того, путем реализации компьютерной модели на физическом компьютере мыполучаем компьютерный процесс (будет обсуждаться далее). Поэтому в структуре как и раньше, если реализованная модель является имитационной, то у нас есть компьютерное моделирование.

³⁷ OCASL см., например, (Bidoit and Mosses 2004). Для VDM см., например, (Bjorner и Хенсон 2007). Для ABS см. <http://abs-models.org/concept/>. А для обозначения Z см. экзemplар (Спиви 2001).

2.2.1.3 Компьютерные процессы

В предыдущих разделах я использовал понятие спецификации или Кантуэлла Смита в качестве примера от правноточности для наших исследований. Теперь пришло время завершить его идею анализом компьютерных процессов³⁸.

По мнению автора, компьютерная программа — это набор инструкций, выполняемых на физическом компьютере. Такая характеристика сильно отличается от понятия спецификации, как обсуждалось ранее Кантуэллом Смитом. В то время как компьютерная программа представляет собой причинно-следственный процесс, происходящий на физическом компьютере, спецификация является абстрактной, в некоторой степени, формальной сущностью. Кроме того, Кантуэлл Смит отмечает, что «программа должна говорить, как должно быть достигнуто поведение, как правило, пошагово (и часто с мучительными подробностями). Спецификация, однако, менее ограничена: все, что она должна сделать, это указать, как это должно быть правильное поведение, независимо от того, как оно достигается» (Cantwell Smith 1985, 22. К урсив оригинала). Понимаемые так образом спецификации являются декларативными в том смысле, что они указывают на данном языке — естественном и формальном — как система разбивается с течением времени. В этом отношении спецификации обозначают язык и высокоуровневый для решения проблем без явного требования соблюдения точной процедуры. Компьютерные программы с другой стороны являются процессуальными, поскольку они поэтапно определяют, как должен вести себя физический компьютер.

Чтобы проиллюстрировать разницу между спецификацией и компьютерной программой, снова возьмем описание системы доставки молока. В этой симуляции указывается, что грузовик для доставки молока должен сделать одну доставку в каждый магазин, проехав в общей сложности кратчайшее расстояние. Согласно Кантуэллу Смиту, это описание того, что должно произойти, а не того, как это произойдет. Компьютерная программа обязана показать, как на самом деле происходит доставка молока: «проехать четыре квартала на север, повернуть направо, остановиться у продуктового магазина Грегори на углу, сдать молоко, затем проехать 17 кварталов на северо-восток, [...]» (22).

Несмотря на правильность во многих отношениях, определение «компьютерной программы», данное Кантуэллом Смитом, неубедительно. Основная проблема здесь заключается в том, что он не может уловить разницу между пошаговой процедурой, понимаемой как синтаксическая формула (т. е. алгоритм), и пошаговой процедурой, которая переводит физическую машину в соответствующие координатные соотношения (т. е. компьютерный процесс)³⁹. Как мы вскоре увидим, это не безобидное различие, но оно затрагивает суть многих дискуссий о верификации компьютерного программного обеспечения. В частности, игнорирование этого различия лежит в основе смещения описания исследований поведения системы доставки молока с фактическими шагами, выполняемыми компьютером.

³⁸ Я не затрагиваю вопрос о валидности архитектур, на которых работают компьютерные программные обеспечения. Однако из контекста должно быть ясно, что нас интересуют компьютеры на основе кремния, а не квантовые компьютеры или биологические компьютеры. Следует также сказать, что другие архитектуры представляют собой другой набор проблем (Berekovic, Simopoulos, and Wong, 2008). (Рохас и Хашаген, 2000).

³⁹ Что бы завершило эту попытку спецификации идо компьютерной программы мы также должны обавить множество промежуточных шагов, так как как компиляция алгоритма, выделение памяти, запоминающее устройство и т. д. Поскольку эти промежуточные этапы состоят из единиц анализа для компьютерного моделирования, нет необходимости обсуждать их подробно.

Таким образом, понятие компиляторной программы⁴⁰ следует разделить на две части: алгоритм компиляторный процесс.⁴¹ Поскольку уныло судили алгоритмы не оторык подробно в предыдущем разделе, пришло время обратиться к понятию компиляторного процесса и его связь с алгоритмами.

Позвольте мне начать с последнего вопроса, так как он помогает придать смысл понятию самого компиляторного процесса. Как любой исследователь, который хоть раз программировал в их жизнь знает, чтобы реализовать алгоритм на компиляторе, нужно скомпилировать его первым. Компиляция в основном состоит из сопоставления интерпретируемой доменной области (т.е. алгоритма) с интерпретируемой доменной областью (т.е. компиляторным процессом)⁴². Другими словами, алгоритм реализуется как физический процесс, потому что компилятор способен правильно интерпретировать и выполнять алгоритм. Теперь, как это возможно?

По своей сути любое компиляторное оборудование состоит из микросхем транзисторов, состоящих из миллиардов логических элементов. Эти логические элементы являются физическими реализациями логики и операторов «и», «или», «не», которые в сочетании достают очно, чтобы интерпретировать всю логику и арифметические операции — следователь но, и все остальные⁴³. На этом уровне описания все компиляторы в основном одинаковы возможно, за исключением

число используемых логических элементов. Однако так далеко идентичность среди компиляторов, поскольку на более высоких уровнях не все компиляторы имеют одинаковую архитектуру.

Восходящая схема соединяет эти логические элементы с компиляторным процессом посредством включения аскад сложных машинных инструкций и языков, которые «разговаривают» с друг другом. Он начинается с микрокода,⁴⁴ используемого в качестве набора инструкций аппаратного уровня. способный реализовать инструкции машинного кода более высокого уровня, компилятор, от вет ст венному за преобразование инструкций алгоритма в машинный код, так что они могут быть прочитаны выполнены как компиляторный процесс. Таким образом, компилятор процесс выполняется на физическом компиляторе, поскольку существует несколько уровней интерпретаторов которые переводят набор инструкций на правильный машинный язык.

Проиллюстрируем этот момент на упрощенном случае математической операции 2+2, написанное на языке С. Рассмотрим алгоритм 9.

⁴⁰ Несмотря на то, что я поддерживаю это различие, сохраняю понятие «компиляторная программа» как компактный способ для обозначения алгоритма и компиляторного процесса в целом.

⁴¹ Понятие «компиляторный процесс», в свою очередь, весьма неоднозначно, поскольку может использоваться для обозначения к (i) кодировки алгоритмов, (ii) кодировки алгоритмов, которые могут быть скомпилированы (iii) кодировки алгоритмов, которые могут быть скомпилированы выполнены машиной. Джеймс Х. Мур предложил до пяти различных интерпретаций (Moore 1988). См. также (Fetzer 1988, 1058). Моя интерпретация похожа на третью.

⁴² По этому вопросу можно обратиться к работе Уильяма Рапапорта в (William J. Rapaport 1999). и (Уильям Дж. Рапапорт, 2005 г.).

⁴³ Существуют специальные языки — так называемые «языки описания оборудования», такие как VHDL и Verilog, которые облегчают составление этих логических элементов в физическое микросхему (Кон, 1989). (Чилетти, 2010). Эти языки и описания оборудования, по сути, являются языками программирования для аппаратной архитектуры.

⁴⁴ Первоначально микрокод разрабатывался как замена аппаратным инструкциям для процессора. Таким образом, поведение и программирование процессора заменяются микропрограммными процессорами, а не с помощью специальной схемы

Алгорит м9. Прост ой алгорит моперац ии 2+2, написанный на языке С.

пуст ая функ ц ия()

{

воз врат (2+2)

}

В двоич номк оде ч исло 2 предст авлено как '00000010, тогда как операц ия сложения выполняет ся, например, суммат ором с переносомпуль сац ий. Зат емк омпилат ор преобразует эт и инст рук ц ии в машинный код, гот овый к запуску на физич еск омк омь юг ере. Один раз к омь юг ерный проц есс за канч ивает ся, решение выводит ся на эк ран монит ора, в эт ом случ ай 4, к от орый равен 00000100 в двоич номк оде.

Исходя из эт их соображений, у нас т еперь дост ат оч но элемент ов для предст авления нек от орых к люч евых философск их вопросов. Рассмот рим следую щий вопрос: если к омь юг ер проц ессыявляют ся физич еской реализац ией алгорит мов, к от орые абст ракт ны а иног да и формаль ны —к ак можно понять от ношение между од ним и дру гим?

Для многих единст венная ц ель алгорит мов состо ит в том, ч т обыпред писывать правила, к от орые к омь юг ер проц ессыдолжныслед овать на физич еск омк омь юг ере. От мет им, ч т о понимание связь между алгорит мами и к омь юг ерными проц ессами т ак имобраз ом не влеч ет за собой вернемся к понятию«к омь юг ерной программы» К эт уэлла Смит а, поск ольку алгорит мьи к омь юг ерные проц ессыпо-прежнему предст авляют собой две от дель ные сущност и. Ест ь неск олько к о прич ин, по к от орым наз ад поднимит еэт о т ребование. Во-первык, алгорит мьи к омь юг ерные проц ессыонт ологич еск и различ ны. В т о время как алгорит мыявляют ся абст ракт ными объек т ами, к омь юг ерные проц ессыпричинны в прямом физич еск ом смысле. Более того, хот я алгорит мык огнит ивно дост упны(т. исслед ователи могут понять и, в нек от орой ст епени, даже след овать инст рук ц иям, изложенным в алгорит ме), к омь юг ерные проц ессык огнит ивно непрозрач ны. Т реть я прич ина заключ ает ся в том, ч т о мет одология к омь юг ерного программног о обеспеч ения т ребует признания сущест вования алгорит мов как промежут оч ного звена между спец ификац иями и к омь юг ерными проц ессами⁴⁵. Понимаемье т ак имобраз ом, алгорит мьи к омь юг ерные проц ессыонт ологич еск и различ ны но они эпист емич еск иэк вивалент ны. Эт о означ ает , ч т о информац ия, за код ированная в алгорит ме физич еск и реализует ся к омь юг ерным проц ессом и сч ит ает ся эпист емич еск и равным. Примером являет ся сложение 2 + 2, запрограммированное в алгорит ме 9.

Предполагая правиль нуюфунк ц иональност ь к омпилат ора, а т ак же физич еского к омь юг ера, резуль т ат омвын исления эт ого алгорит ма являет ся фак т ич еское сложение, т о ест ь 4.

Принятие эпист емологич ескойэк вивалент ност и между алгорит мами и к омь юг ерными проц ессами имеет нек от орое род ст во с дебат ами о проверке в к омь юг ерном программном обеспеч ении. Т о ест ь дано формальная верификац ия алгорит ма, может ли исслед оватьс я бы ь уверенным, ч т о к омь юг ерный проц есс т ак же ведет себя т ак , как предполагалось? Положит ельный от вет на эт от вопрос означ ает ч т о сущест вует формаль ный мет од, гарант ирующий, ч т о к омь юг ерные проц ессыведут себя как предусмот рено в спец ификац иях и запрограммировано в алгорит мах. С дру ой ст ороны от риц ат ельный от вет ст авит вопрос о том, на как ом основании исслед ователи

45

Было неск олько к о дискуссий о том, являют ся ли спец ификац ии и алгорит мыисполняемыми файлами. т о ест ь может ли к омь юг ерный проц есс т оч но их вын ислит ь. См. (Фукс, 1992).

доверяют результаты вычислений процессоров. Позвольте мне теперь представить дискуссию верификации

более подробно.⁴⁶ Ученые-компьютерщики и философы К.А.Р.

Дейкстра (Dijkstra 1974) считал, что компьютерное программное обеспечение имеет математическую природу.

В этом контексте компьютерные программы могут быть формально проверены, то есть правильность алгоритмов может быть доказана или опровергнута в отложении определенных формальных свойств в спецификации, что очень похоже на математическое доказательство. Настоящая разница с математикой заключается в том, что для проверки программного обеспечения требуется собственный синтаксис. С этой целью Хоар создал свой язык, состоящий из формальной системы — начального, промежуточного и конечного состояний — которые строго подчиняются набору логических правил. Тройка Хоара имеет вид: $\{P\} S \{Q\}$, где P и Q — утверждения (предусловие и постусловие соответственно), а S — команда. Когда предусловие выполнено, команда устанавливает постусловие. Утверждения — это формулы логики предикатов с определенным набором правил. Одним из таких правил является схема аксиом пустого оператора; другой — схема аксиом присваивания: $\{P\} \text{Присваивание}(P) \vdash \{P\}$ и т.д. (Хор, 1971).

Для Хоара и Дейкстры компьютерные программы «надёжны и послушны» (Dijkstra 1974, 608), поскольку они ведут себя точно так, как указано в спецификации. Таким образом, рабочая нагрузка лежит на алгоритме и на том, как он правильно интерпретирует спецификацию.⁴⁷ После формальной проверки и алгоритма результаты исследований будут такими, как предполагалось в спецификации.

Противоположная точка зрения исходит из того факта, что алгоритмы — это логические отличия компьютерных процессоров, и делает вывод, что они также должны быть отличными эпистемическими. В то время как первые действия являются математическими выражениями, подходящими для математической или логической проверки, правильность выбора можно проверить только с помощью эмпирических методов. Это утверждение философа Джеймса Фетцера (Fetzer 1988), который считает, что компьютерные процессоры могут интерпретироваться как каузальные по своей природе и поэтому выходят за рамки логических и математических методов. Это означает, что когда алгоритм реализуется на физическом устройстве, где действуют причинные факторы, вся компьютерная программа становится как им-то образом «причинной». Его аргумент завершается заявлением о том, что формальная верификация в информатике невозможна, и так имметодам валидации, как тестирование, должно быть отведено более важное место.⁴⁸

⁴⁶ Существует крупный производственно-научный комплекс, посвященный методам верификации и валидации. Здесь меня интересуют некоторые оригинальные промоутеры недоброжелатели. Полное обсуждение можно найти в (Colburn, Fetzer, and Rankin 2012).

⁴⁷ Дейкстра очень озабочен программистами и их образованием. В то время учебная программа формальной верификации практически не существовала.

⁴⁸ Я, конечно, упрощаю дискуссию. Аргумент Фетцера, безусловно, более сложен и сам по себе достоин изучения. Прежде всего, он делает ряд различий от носителей машин на которые выполняются алгоритмы процессоров (например, абстрактные машины физическое машины), различий, которые здесь проигнорировал. Кроме того, аргументируя возможность формальной верификации, Фетцер проводит существенное различие между чистым математическим и прикладным математическим, причем последняя требует интерпретации физического систем (Fetzer 1988, 1059). Как он выразился, «если функция программы состоит в том, что обслуживают ограничения, налагаемые абстрактной машиной, для которой имеет предположаемая интерпретация по отношению к физическим системам, то поведение этой системы может

Многие ученые-компьютерщики и философы ропотно возразили против аргумента Фетцера, обвиняя его в непонимании основ теории вычислений⁴⁹. Сред а — наш мозг, к алькулятор, с чет ы—всегда нужна для вычислений и док аз а т е л ь с т в. Так им образом аргумент Фетцера верен только в том случае, если мы признаем наличие качественной разницы между физическими средой, используемой для реализации алгоритма (т. е. физическим компьютером), и физической средой, используемой математиком, проводящим док аз а т е л ь с т в о (т. е. нашим мозгом) (Бланко и Гарсия, 2011).

Несмотря на эти возражения, я считаю, что Фетцер прав в двух отношениях. Во-первых, он прав в том, что алгоритмы компьютерные процессы могут рассматриваться как одна и та же математическая сущность, а скорее требуют разного обращения. Я уже упоминал об этом ранее, когда онтологически отделял алгоритмы как абстрактные и формальные объекты компьютерных процессов как причинно связанных. Однако он ошибается, думая, что это основания для отказа от формальной верификации и эпистемической эквивалентности. В настоящее время многие алгоритмы формально верифицированы (например, критический графический протоколы безопасности), и при запуске на компьютере компьютерные процессы рассматриваются как эпистемическая эквивалентная тем алгоритмам.

Во-вторых, Фетцер подчеркивает роль валидации или тестирования — как более важную чем предполагалось изначально. Я принципиально согласен с Фетцером в этом вопросе. Методы валидации не могут быть поглощены или аменены формальной верификацией, даже если последняя возможна. На самом деле, в контексте компьютерного моделирования комбинация методов проверки и широкого использования для подтверждения правильности результатов. Эти вопросы посвящена глава 4. Как мы увидим, методы верификации фокусируются на отношении модели-спецификации и, таким образом, выходят за рамки «формальной» верификации; методы проверки, с другой стороны, сосредоточены на отношениях модели-мира, таким образом, имеют основополагающее значение для обеспечения того, что обычная модель точно представляется ему.

Наконец, есть еще одно предположение, которое мы должны упомянуть. Для наших нынешних целей я предполагаю, что нет никаких просчетов или математических артефактов любого рода, которые компьютерный процесс вносит в результаты. Это предположение философски и безвредно и технически достижимо. Из этого следует, что уравнения, запрограммированные в алгоритме, надежно решаются компьютерным процессом и что результаты относятся к спецификации и алгоритму.

На рис. 2.1 показаны три блока компьютерного программного обеспечения и их соединения. На верхнем уровне находится спецификация, где решения для компьютерного программного обеспечения принимаются и интегрируются в целом. Алгоритм — это набор инструкций, которые интерпретируют спецификацию и описывают, как должна вести себя машина. Как упоминалось ранее, я называю пару <спецификация, алгоритм> имитационной моделью

подлежит окончательной абсолютной проверке, но вместо этого требует эмпирического индуктивного исследования для поддержки и неуверительных носителей проверок». (Фетцер 1988, 1059–1060)

⁴⁹ Серия писем с возмущением была отправлена главному редактору отдела коммуникаций ACM Роберту Л.

Аследзурст у сразу после публикации статьи и Фетцера. К счастью письма были опубликованы от имени автора, что свидетельствует не только о демократичности редактора, но и об увлекательной реакции сообщества на этот вопрос.

Таким образом, имитационная модель включает в себя всю необходимую информацию о целевой системе и в этом отношении является наиболее прозрачной единицей компьютерного моделирования. Наконец, есть компьютерный процесс как семантическая реализация алгоритма на физическом компьютере.

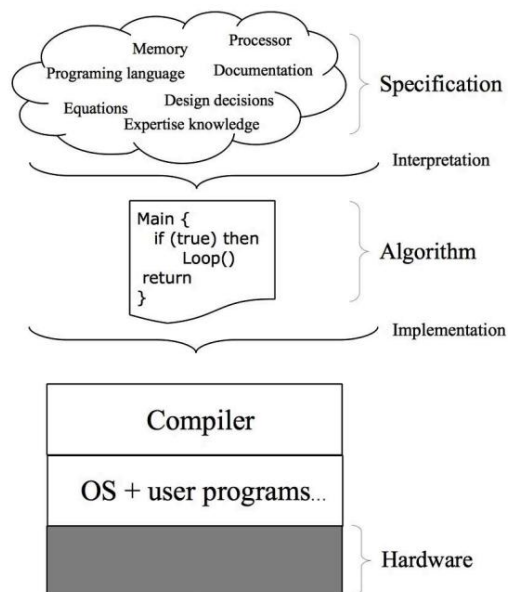


Рис. 2.1 Общая схема программного обеспечения ЭВМ. Напечатано в (Джран, 2014 г.)

2.3 Заключение и замечания

В этой главе основное внимание уделялось компьютерному моделированию как новым видам единиц анализа. Идентифицируя и реконструируя спецификацию алгоритма и компьютерный процесс, мы можем лучше понять природу компьютерного программного обеспечения в целом и компьютерного моделирования в частности.

Урок, который нужно усвоить, заключается в том, что компьютерное моделирование — это очень сложные единицы анализа, которые объединяют этап проектирования и принятия решений в спецификацию и алгоритм с реализацией на физическом компьютере. На каждом из этих этапов возникает ряд проблем, связанных с социальными аспектами компьютерных симуляций, их технических возможностей или глубокими философскими вопросами. Хотя в этой главе обсуждались многие из этих проблем, можно и нужно сказать гораздо больше, особенно с акцентом на природу компьютерного моделирования.

Полученные здесь результаты будут сопровождать нас на протяжении всей книги. Для Например, в главе 5.1.1 я привожу аргументы в пользу возможности компьютерного моделирования обеспечить подлинное понимание мира, объясняя его. Как мы там увидим, спецификаций и алгоритмы составляющие имитационную модель, обеспечивают объяснительную силу компьютерных симуляций. Точно так же я буду использовать эти единицы анализа явно во время нашего обсуждения в разделе 4.3.1, когда я обсуждаю ошибки в программном обеспечении и оборудование, и особенно в главе 6, когда я упоминаю компьютерное моделирование как новую парадигму науки.

Рекомендации

Альяс, Международная виртуальная обсерватория. 2018. По состоянию на 26 февраля 2018 г. <http://www.ivoa.net>.

Аткинсон, Кендалл Э., Веймин Хан и Дэвид Э. Стюарт. 2009. Численное решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Джон Уайли и сыновья.

Бейлер-Джонс, Даниэла. 2009. Научные модели в философии науки. Университет Питтсбург Пресс.

Беркович, Младен, Никитас Симопулос и Стефан Вонг, ред. 2008. Встроенный компьютерные системы архитектуры моделирование и симуляция. Спрингер.

Бидуа, Мишель и Питер Д. Моссес. 2004. Руководство по использованию CASL: Введение в Использование Общего Алгебраического Языка Спецификаций. Спрингер.

Борнер, Дайнс и Мартин С. Хенсон. 2007. Логика языков спецификаций. Спрингер.

Бланко, Хавьер и Пио Гарсия. 2011. «Категорическая ошибка в дебатах о формальной верификации». В «Вынужденный поворот: прошлое, настоящее, будущее?» под редакцией К. Эсса и Р. Хагенгрубер. Mv-Wissenschaft, Мюнстер. Орхусский университет.

Бласс, Андреас, Нахум Дершовиц и Юлий Гуревич. 2009. «Когда двое Алгоритмы же?» Бюллетень символической логики, нет. 250: 145–168.

Бласс, Андреас и Юлий Гуревич. 2003. «Алгоритмы поиска абсолютных определений». В Бюллетене Европейской ассоциации теоретической информатики, 195–225. Октябрь. <https://www.microsoft.com/ан-нас/исследование/публикация/164-алгоритмы-вест-абсолютные-определения/>.

Мясник, Джеймс. 2008. «Моделирование нейронных сетей: светлое будущее». Ланцет Неврология 7 (5): 382–383.

Кантвелл Смит, Брайан. 1985. «Пределы правильности». ACM SIGCAS Computers and Society 14 (1): 18–26.

Шабер, Жан-Клод, изд. 1994. Источники алгоритмов. От гальки до микросхемы Спрингера.

Чилетти, Майкл Д. 2010. Усовершенствованный цифровой дизайн с Verilog HDL. Прентис Холл.

Кон, Авра. 1989. «Понятие доказательств в проверке оборудования». Журнал Автоматизированного Рассуждения 5, вып. 2 (июнь): 127–139.

Колберн, Тимоти, Джеймс Х. Фетцери Р.Л. Рэнкин. 2012. Верификация программ: Фундаментальные вопросы информатики. Том 14. Springer Science & Business Media.

Коллинз, Гарри и Роберт Эванс. 2007. Переосмысление опыта. Чикагский университет.
Нажмите.

Копленд, Б. Джек. 1996. «Что такое вычисления?» Синтез 108 (3): 335–359.

Craver, C.F.F. 2001. «Ролевые функции, механизмы иерархия». Философия науки и 68 (1): 53–74.

Дейкстра, Эдсгер В. 1974. «Программирование как дисциплина математического характера». American Mathematical Monthly 81 (6): 608–612.

Джон, Хуан М. 2014. «Объяснение смоделированных явлений: защита эпистемической силы компьютерного моделирования». Кандидатская диссертация, Университет Штутгарта.

Фетцери, Джеймс Х. 1988. «Проверка программы сама идея». сообщения АСМ 37 (9): 1048–1063.

Фейнман, Ричард П. 2001. Какое вам дело до того, что думают другие люди? В.В. Нортон & Компания.

Фукс, Норберт Э. 1992. «Спецификация (предпочтительно) исполняемые». Журнал разработок и программного обеспечения 7 (5): 323–334. <http://portal.acm.org/citation.cfm?id=146587>.

Гельфанд, Аксель. 2016. Как заниматься наукой с помощью моделей. Краткие сведения Спрингера по философии. Спрингер. ISBN: 978-3-319-27952-7 978-3-319-27954-1, по состоянию на 23 августа 2016 г.

Гулд, Харви, Ян Тобиас и Вольфганг Кристиан. 2007. Введение в метадисциплину компьютерного моделирования. Приложения к физическим системам. Пирсон Эддисон Уэсли.

Хартманн, Стефан. 1999. «Модели и истории в адронной физике». В «Моделях как посредниках: взгляд на естественные и социальные науки» под редакцией Мэри С. Морган и Маргарет Моррисон. Издательство Кембриджского университета.

Хилл, Робин К. 2013. «Что такое алгоритм, а что нет». Коммуникации АСМ 56 (6): 8–9.

———. 2015. «Что такое алгоритм». Философия и технологии 29 (1): 35–59.

Хоар, CAR 1971. Информат ик а.

———. 1999. Т еория прог раммирования: д енот ац ионная, алг ебраич еск ая и операц ионная. семант ик а. Т ехнич еск ий от ч ет . Исслед ования Майк рософт .

Хамфрис, Пол и Сирил Имберт , ред. 2012. Мод ели, симуляц ии и пред ст авления. Исслед ования Рут лед жа в област и философии наук и. Рут лед ж. ISBN: 978-0-415-89196-7 978-0-203-80841-2.

межзвездная среда из олюрованных галактик, AMIGA. 2018. По сост ояниюна 26 февраля. 2018 г. <http://amiga.iaa.es/p/1-homepage.htm>.

К еннеди, Эшли Грэм. 2012. «Нерепрез ент ат ивист ск ий вз гляд на объяснение модели». Исслед ования по ист ории и философии наук и Ч аст ь А 43 (2): 326–332.

К нут , Дональд Э. 1973. Иск усст во к омпь юг ерного прог раммирования. Эддисон-Уэсли.

———. 1974. «Информат ик а и ее связь с мат емат ик ой». Америк анец Mathematical Monthly 81 (4): 323–343.

К нут тила, Т арь я. 2005. Мод ели к ак эпист емологич еск ие арт ефак ты на пут и к нерепрез ент ац ионист у. Сч ет науч ного пред ст авит ель ст ва. К афед ра философии, Университ ет г. Хель синки. ISBN: 952-10-2797-5.

Ленхард, Йоханнес. 2007. «К омпь юг ерное моделирование: сот руднич ест во между эк сперимент ированием и моделированием». Философия наук и 74: 176–194.

Мач амер, Пит ер, Линдли Дарден и К арл Ф. К рейвер. 2000. «Думая о мех. аниз мь». Философия наук и 67 (1): 1–25.

Мейерс, Энт они, из д. 2009. Философия т ехник ии инженерных наук . Эль зевир.

Мур, Джеймс Х. 1988. «З аблужд ение псевдореализ ац ии и аргумент к ит айск ой к омпнат ь». В «Аспек т ах иск усст венного инт еллек т а» под ред ак ц ией Джеймса Фет ц ера. Спринг ер, 1 января. ISBN: 978-1-55608-038-8. дои: 10.1007/978-94-009-2699-8_2. http://dx.doi.org/10.1007/978-94-009-2699-8_2.

Морг ан, Мэри С. и Маргарет Моррисон, ред. 1999. Мод ели к ак посред ник и: вз глядына ест ест венные и соц иаль ные наук и. Из дат ель ст во К ембриджск ого университет а.

Моррисон, Маргарет . 2009. «Мод ели, из мерения и к омпь юг ерное моделирование: Из менение облик а эк сперимент ов». Философск ие исслед ования 143 (1): 33–57.

———. 2015. Рек онст рук ц ия реаль ност и. Мод ели, мат емат ик а и моделирование. Из дат ель ст во Ок сфордск ого университет а.

Мюллер, Т ибор и Хармунд Мюллер. 2003. Мод елирование в ест ест венных наук ах. Спринг ер.

Оберк ампф, Уильям Л., Т имот и Дж. Т рукано и Ч арль з Хириш 2003. Проверк а, валид ац ия и воз можност и прог ноз ирования в вьн ислит ель ной инженерии и Физ ик а. Санд ийск ие нац иональ ные лаборат ории.

Пфлигер, Шари Лоуренс и Джоанн М. Атли. 2009. Программная инженерия: теория и практика. Прентис Холл.

Пичинини, Гуальтьеро. 2007. «Вычислительные механизмы». *Философия наук* и 74: 501–526.

———. 2008. «Вычисление без представления». *Философские исследования* 137 (2): 205–241. ISSN: 00318116. doi: 10.1007/s11098-005-5385-4.

Пресс, Уильям Х., Сол А. Теукольски, Уильям Т. Феттерлинг и Брайан П. Фланнери. 2007. Численные рецепты: Искусство научного вычисления. Издательство Кембриджского университета.

Примьеро, Джузеппе. 2014. «Обонтология вычислительного процесса и эпистемологии вычисляемого». *Философия и технология* 27 (3): 485–489.

———. 2016. «Информация в философии информатики». В *Справочнике по философии информатики* «Раут-Ледж» под редакцией Лучано Флориди, 90–90 гг. 106.

Рапапорт, Уильям Дж. 2005. «Реализация — это семантическая интерпретация: далее мысли.» *Журнал экспериментального и теоретического искусственного интеллекта* 17 (4): 385–417.

Рапапорт, Уильям Дж. 1999. «Реализация — это семантическая интерпретация» [на английском языке]. *Монист* 82 (1): 109–130.

Рохас, Рауль и Уильям Хасхаген, ред. 2000. Первые компьютеры: История и архитектура. Массачусетский технологический институт Пресс.

Спайви, Дж. М. 2001. Обозначение Z: Справочное руководство. Прентис Холл.

Тернер, Раймонд. 2011. «Спецификация». *Умные машины* 21 (2): 135–152. ISSN: 09246495. doi: 10.1007/s11023-011-9239-x.

Фон Нейман, Джон. 1945. Первый проект отчета о EDVAC. Соединенные Штаты Департамент артиллерийского вооружения Пенсильванского университета.

Винсберг, Эрик. 2010. Наука в эпоху компьютерного моделирования. Университет Чикаго Пресс.

Вулфсон, Майкл М. и Джеффри Дж. Перт. 1999. СПУТНИК ДЛЯ.

Зенил, Гектор. 2014. «Читая природоподобные вычисления? Поведенческий подход и понятие программируемости». *Философия и технологии* 27, вып. 3 (сентябрь): 399. doi:10.1007/s13347-012-0095-2. <http://dx.doi.org/10.1007/s13347-012-0095-2>.

Глава 3

Единиц ы анализ а II: Лаборат орные эк сперимент ы и к омпь ют ерное мод елирование

К огда философы сосредоточили свое внимание на компьютерных симуляциях, появились основные направления исследований (Duran 2013a). Первое направление исследований сосредоточено на поиске подходящего определения для компьютерного моделирования. Фундаментальный шаг к пониманию компьютерных симуляций состоит именно в том, чтобы лучше понять их природу, подойдя к определению. Это была тема нашей первой главы, где мы отследили корни определений начала 1960-х годов.

Второе направление исследований связывает компьютерное моделирование с другими единицами анализа, более привычными для исследователей, такими как научные модели и лабораторные эксперименты. Поскольку это отождествление устанавливается на сравнительной основе, вид проблемы в этом контексте, включая, среди прочего, «является ли компьютерное моделирование формой научных моделей или это форма экспериментов? Какое знание должно иметь исследователь, используя компьютерное моделирование, по сравнению со своим родом знания, полученное с использованием научных моделей и экспериментов? Сравнение компьютерных симуляций с научными моделями было предметом главы 2, где я обсуждал их основные составляющие (т.е. спецификации, алгоритмы компьютерные процессы). В этой главе рассматривается сравнение компьютерного моделирования с лабораторным экспериментом. В связи с этим главные вопросы здесь: «Может ли компьютерная симуляция производить такое же знание о мире, как и лабораторные эксперименты? В каких отношениях компьютерное моделирование более или менее подходит для дать надежное знание об эмпирическом мире? Эти вопросы были в центре многих философских споров о компьютерных симуляциях и вокруг них. Здесь мне интересно реконструировать некоторые из этих дебатов, их предположения и подразумеваемое.

Наконец, третья линия исследования обращается к компьютерным симуляциям за истину монету, задавая вопрос об эпистемологической способности обеспечивать знание и понимание данной целевой системы. Эта третья линия независима от двух других, поскольку она не заинтересована ни в определении компьютерных симуляций, ни в установлении сравнения с более привычными способами исследования мира. Остальные главы посвящены конкретизации многих вопросов, поднятых компьютером симуляций.

3.1 Лабораторные экспериментальные компьютерное моделирование

Компьютерное моделирование обычно сравнивают с лабораторными экспериментами, поскольку во многих случаях они используются аналогичным образом и для аналогичных целей.

Только из-за сложности, окружающей изучаемые эмпирические явления, но также из практических экспериментирования самого по себе, сложного по замыслу и сложная по структуре. Вот почему, когда философы говорят об экспериментах, они относят к множеству взаимосвязанных тем, методологий и способов практики наук. Экспериментальны, например, используются для наблюдения за процессами, обнаружения новых объектов, измерения переменных и даже в некоторых случаях для «проверки» достоверности теории. Таким образом, вопросы к оторым руководствуется этот раздел, заключаются в том, в какой степени мы можем сказать, что компьютерные симуляции эпистемически близки или даже превосходят экспериментальную как набор характеристик делает их двумя разными — или похожими —

практики? Давайте начнем с лучшего понимания того, что такое экспериментирование.

Идея экспериментирования с природой восходит к ранним временам цивилизации. Аристотель записал свое наблюдение за эмбриологией цыпленка в своем *Historia Animalium* (Аристотель, 1965), способствовавшая нашему раннему пониманию урицы и человеческого развития. На самом деле, исследование Аристотеля правильно определили роль плацента и пуповины у человека. Хотя его методика ошибочна, тем не менее во многих от ношениях он во многом напоминает современный научный метод: наблюдение, измерение и документирование каждого стадии роста — три аспекта научной практики, используемой до сих пор². Теперь, несмотря на ее неоспоримую роль в нашем современном понимании эмпирического мира лабораторные эксперименты не всегда получали должное признание.

Только с появлением логического эмпиризма в 1920-х и 1930-х годах экспериментали привлекать некоторое внимание в общей философии науки.

Однако для логического эмпирика экспериментирование представляло собой не столько философскую проблему саму по себе, сколько вспомогательную методологию понимания теории. В на самом деле, самое важное использование экспериментов было для подтверждения и опровержения теории, самой распространенной философской проблемы того времени.

Спустя несколько десятилетий логический эмпиризм стал испытывать ряд возражений и нападков с разных флангов. Одно конкретное возражение сыграло фундаментальную роль в их упадке, которое позже стало известно как недоопределение.

Теория доказательств вами. По сути, это возражение утверждает, что собранные доказательства эксперимента могут быть недостаточны для подтверждения или опровержения теории или иного данной теории в данное время. Таким образом, логический эмпирик не было иного выбора, кроме как принять экспериментирование как неотъемлемая часть научного и философского исследования.

¹ Позвольте мне сделать одно терминологическое уточнение и одно разграничение термины. Разъяснение заключается в том, что я использую взаимозаменяемо и без дальнейшей оговорок понятия лабораторного эксперимента и эксперимента. Тонкости различия не представляю интереса для наших целей. Что касается разграничения, я не рассматриваю полевые эксперименты так как они обычно не требуют другого философского подхода.

² Однако современный экспериментальный метод следует приписать Галилео Галилею

Роберт Акерман и Дебора Майо, два главных имени в философии экспериментирования, отсылают к эпохе, когда экспериментирование находится в центре философских исследований, как к новому экспериментализму.³ Новый экспериментализм, как он представлен, дополняет традиционный, основанный на теории взгляд на логический эмпиризм более экспериментальный взгляд на научную практику.

Хотя сторонники нового экспериментализма интенсируют разные виды проблем, возникающих в результате экспериментов и их практики, все они разделяют утверждение, что научные эксперименты лежат в основе большей части нашего понимания эмпирического мира. Философ эксперимента Марсель Вебер предлагает пять общих тенденций, характеризующих новый экспериментализм. Во-первых, экспериментирование исследователейский, то есть направленный на открытие новых явлений и эмпирических закономерностей. Во-вторых, новые экспериментаторы отвергают мнение о том, что наблюдение и экспериментирование руководствуются теорией. Они утверждают, что в значительной мере случаи свободны от теории экспериментирование возможны именно в научной практике. В-третьих, новый экспериментализм дал новую жизнь различию между наблюдением и экспериментированием. В-четвертых, сторонники нового экспериментализма бросили вызов позитивистской идее, что теории как им-то образом связаны с природой на основе экспериментальных результатов. И, в-пятых, было подчёркнуто, что необходимо уделять больше внимания экспериментальной практике, чтобы избежать на вопросы касающиеся научных выводов и проверки теории. (Вебер 2005).

Сдвиг от традиционных схем «сверху вниз» (т.е. от теории к эмпирическому миру) к концептуализации «снизу вверх» является отличительной чертой новой теории. Экспериментаторство. Даже такие понятия, как природное явление, претерпели некие трансформации. С новой экспериментальной точки зрения явление может быть от непосредственно наблюдаемых автомобилей, разбивающихся перед нашими домами, до невидимых микробов астрономического явления и квантовый мир.

Исследователи называют «экспериментацией» широкий спектр действий. Наблюдение Аристотеля за цыпленком, пожалуй, самое прямое использование этого термина. Существует еще одно более широкое использование термина, связанное с вмешательством или манипуляцией. природы Идея очень проста и привлекательна: ученые манипулируют экспериментальной установкой так, как если бы они манипулировали самим эмпирическим явлением. Как бы ни была эпистемологическая выгода от первого, ее можно эксплуатировать на втором. Под это понятие несколько видов деятельности могут быть идентифицированы. Одним из таких является обнаружение новых сущностей, очень ценное занятие в области научных исследований. Например, "Вильгельм Рентгена. Открытие рентгеновских лучей является хорошим примером открытия нового типа или излучения. манипулируя природой.

Еще одним примером манипулирования природой являются некие виды измерения величин. Например, для измерения скорости и света в середине 1800-х годов требовался луч света, чтобы разить на зеркала в нескольких километрах. Эксперимент был представлен

³ Работу Акермана можно найти в (Ackermann 1989), а Майо — в (Mayo 1994). Позволят иметь в виду, что о пропуске юности коллег хорошей философии экспериментирования. Особый интерес представляет Норвуд Р. Хэнсон, философ науки и иеростный противник логический эмпиризм, внесший фундаментальный вклад в переход от эксперимента как вспомогательной методологии теории к экспериментам как самостоятельным исследованиям. Для ссылок см. (Hanson 1958).

таким образом, чтобы луч проходил через щели между зубами

быстро вращающегося колеса. Затем скорость колеса увеличилась до тех пор, пока возвращающийся свет проходил через следующую щель, и его можно было увидеть. Очень умное решение использовать Ипполит Физо для повышения точности прошлых измерений.

Такое понимание экспериментов и экспериментальной практики вызывает вопросы о связи между экспериментами и компьютерным моделированием. Являются ли они эпистемически равными или способность манипулировать реальным миром дает эксперименталисту преимущество перед компьютерными симуляциями? Возможно, самым знаменитым критерием для анализа компьютерных симуляций и лабораторных экспериментов является так называемый аргумент материальности. В своей основе аргумент материальности говорит, что в подлинных экспериментах одни и те же материальные причины действуют как в экспериментальной установке, так и в целевой системе; в компьютерных симуляциях наоборот формальное соотношение имитационной модели и целевой системы.

Понимаемый таким образом аргумент материальности предлагает различные варианты онтологических и эпистемологических обязательств. Одна такая форма требует проведения экспериментов. Тех же материальных причин, что и в целевой системе, в то время как компьютерное моделирование только ко-делитесь официальной перепиской с такой целевой системой. Согласно этой интерпретации, выводы целевой системы более обоснованы экспериментом, чем в компьютерном моделировании⁴.

аналогичны компьютерному моделированию и поэту выводы обоих одинаково оправданы.

Далее я кратко иноспроизвожу свою статью о публикациях 2013 года, в которой я подробно обсуждаю различные способы понимания аргумента о существовании и его влияние в эпистемологической онтологии компьютерных симуляций. В этой статье я надеюсь, так или иначе уровень технической и философской детализации, как книга. Позвольте мне отметить, что после этой статьи было опубликовано гораздо больше философских работ о связи между компьютерным моделированием и экспериментированием. Примеры от личной работы Эмили Парк (Parke 2014), Массими и Вахид Бхимджи (Massimi and Bhimji 2015), а совсем недавно — Клауса Бейсбарта (Beisbart 2017).

3.2 Аргумент о существовании

Большая часть нынешнего философского интереса к компьютерному моделированию происходит из их расширенное присутствие в научной практике. Этот интерес сосредоточился на изучении экспериментальной характеристики компьютерных симуляций, как таковых, на различия — сходства — между компьютерным моделированием и лабораторными экспериментами. Таким образом, философские усилия были в первую очередь сосредоточены на установлении основы эталонности; в частности, посредством сравнения эпистемической силы компьютерной симуляции с силой лабораторного эксперимента. Основная интуиция была

⁴ Наиболее понятная реконструкция аргумента о существовании дается Венди Паркер в (Паркер 2009).

⁵ Следующий текст был кратко иноспубликован в (Duran 2013b). Публикуется с разрешения Cambridge Scholars Publishing.

что если компьютерное моделирование напоминает лабораторные эксперименты соответствующих эпистемологических их от ношении, то они также могут быть санкционированы как средство обеспечения понимания мира.

Стандартная либература по этой теме от лич ает компьютерное моделирование от лабораторных экспериментов как на онтологический, так и на репрезентативных основаниях. Дело в том, что компьютерная симуляция является абстрактной сущностью и поэтому имеет только формальное отношение к исследуемой системе, онтологически с лабораторным экспериментом, который объективно имеет причинно-следственную связь с целевой системой. Это онтологическое и репрезентативное различие натолкнуло некоторых философов на мысль, что установление внешних валидности — гораздо более сложная задача для компьютерного моделирования, чем для лабораторного эксперимента. Для других, однако, это побудило пересмотреть экспериментальную практику и рассмотреть ее как более широкую деятельность, которая также включает моделирование в качестве нового научного инструмента. Я утверждаю, что эти два подхода имеют общее обоснование, заключающееся в том, что она ладывает ограничения на эпистемологический анализ компьютерных симуляций.

Самый известный критерий различия компьютерных симуляций и лабораторных экспериментов дает так называемый аргумент о материальности. Паркер предоставил полезный отчет об этом аргументе:

В подлинных экспериментах действуют одни и те же «материальные» причинные экспериментальные и целевые системы в то время как в моделировании существует лишь формальное соответствие между моделирующими и целевыми системами[...] выводы о целевых системах более оправданы когда экспериментальные и целевые системы сделаны из «одного и того же материала», чем когда они сделаны из разных материалов (как в случае компьютерных экспериментов). (Паркер 2009, 484)

Здесь выдвигаются две претензии. Во-первых, компьютерное моделирование является абстрактной сущностью в то время как эксперименты используют тот же материальный субстрат, что и мишень.

Второй, по существу эпистемологический, состоит в том, что выводы эмпирических целевых системах в большей степени подтверждены экспериментами, чем компьютерным моделированием. Благодаря материальным отношениям первого с миром.

Современная либература объединила эти два утверждения в два разных предложения:

любой из них принимает оба утверждения и поддерживает мнение о том, что быть материальным лучше оправдывает выводы о целевой системе, а не является абстрактными формальными (Гуала 2002 г.; Морган 2005); или отвергнуты оба утверждения и поддержать мнение о том, что компьютерные симуляции являются подлинными формами экспериментирования и, как таковые, эпистемически наравне с экспериментальными практиками (Morrison 2009; Winsberg 2009; Parker 2009). Я утверждаю, что эти две группы философов, которые на первый взгляд расходятся во мнениях, на самом деле разделяют общее обоснование в их аргументации. Конкретно они все спорят за онтологическую обязательность, которую основывают свои эпистемологические оценки на компьютерных симуляциях. Я буду называть это обоснование принципом материальности.

Часто говорят, что принцип материальности действует в большей части философской либературы по компьютерному моделированию и обсуждают различные точечные изречения:

а именно:

⁶ Некоторые термины либературы остаются неутраченными, например, «материальные» причинные или «вещи». (Гуала, 2002). Здесь я подразумеваю под ними физическое причинные от ношения, описанные, например, (Доу 2000). Точно так же, когда я говорю о причинах, каузальности и тому подобных терминах, они должны интерпретироваться в узком смысле этого образом.

- а) компьютерное моделирование и экспериментология схожи (оба имеют одинаковую материальность с целевой системой); следовательно, они эпистемически на одном уровне (Паркер, 2009 г.);
- б) Компьютерное моделирование и экспериментология различны. В то время как первое носит абстрактный характер, второе имеет ту же материальность, что и изучаемое явление; следовательно, они эпистемически различны (Guala 2002; Giere 2009; Morgan 2003, 2005); в) компьютерные симуляторы и экспериментология схожи (оба являются «модельными»); следовательно, они эпистемически равны (Morrison 2009; Winsberg 2009).

Имея в виду эти критерии различия, принцип материальности можно переформулировать с другой точки зрения: именно из-за приверженности философов абстрактности — или материальности — компьютерных симуляций выводы целевой системы более или менее так овы оправданы чем лабораторные эксперименты.

Основная цель здесь — показать, что философия компьютерного моделирования так или иначе придерживается принципа материальности. Я так же заинтересован в описании некоторых последствий принятого обоснования. В частности, я убежден, что обоснование философского анализа принципа материальности, как это, по-видимому, делает большая часть современной литературы, накладывает окончательный окрест на изучение эпистемологической силы компьютерных симуляций. Философское изучение компьютерных симуляций не должно ограничиваться априорными онтологическими обязательствами. Таким образом, анализируя тем самым литературу, я показываю, что принцип материальности не приводит к полезной окончательной оценке эпистемической силы компьютерных симуляций.

Следующие разделы разделены таким образом, чтобы соответствовать трем случаям использования аргумента о существовании, перечисленным выше. В разделе, озаглавленном «Идентичность алгоритма», обсуждается вариант а); раздел, озаглавленный «материальные ценности как критерий», посвящен варианту б), который представлен в двух версиях: сильной и слабой; и, наконец, вариант с) рассматривается в разделе, озаглавленном «Модели как (все) посредники».

3.2.1 Идентичность алгоритма

Формулировка аргумента материальности Венди Паркер занимает видное место в недавней литературе по компьютерному моделированию. Следуя (Hartmann 1996), Паркер определяет компьютерную симуляцию как упорядоченную во времени последовательность состояний, которая абстрактно представляет собой набор желаемых свойств целевой системы. С другой стороны, экспериментирование — это деятельность по приведению экспериментальной уставки в определенное состояние посредством вмешательства в нее и изучение того, как определенные интерпретируемые свойства уставки изменяются в результате того вмешательства (Parker 2009, 486).⁷

⁷ «Вмешательство» понимается как манипулирование физическими причинно-следственными отношениями в экспериментальной уставке.

Цель Паркера — показать, что компьютерное моделирование и эксперимент выражают одну и ту же онтологическую основу, и использовать эту основу в качестве обоснования утверждения, что компьютерное моделирование и эксперимент эпистемически равны. По ее мнению, главная проблема заключается в том, что современные определения компьютерного моделирования не могут считаться экспериментировать, потому что им не хватает решающих промежуточных механизмов. Действительно, это абстрактный характер модели, препятствующий использованию компьютерных симуляций. Как промежуточные системы. Решение этого вопроса состоит в толковании понятия исследований компьютерного моделирования как компьютерного моделирования, где вмешательство превращается в самодостаточный компьютер. Так определено, исследование компьютерного моделирования квалифицируется как эксперимент.

Исследование компьютерного моделирования [...] состоит из более широкой деятельности, которая включает установку содержания цифрового компьютера, из которого будет развиваться симуляция, запуск этой эволюции, запуск компьютерной программы, которая генерирует моделирование, а затем собирая информацию о том, как различные свойства компьютерной системы такие как хранящиеся значения в различных местах его памяти или цикла, отображаемые на его мониторе, эволюционируют в свете более раннее вмешательство. (488)

Понятие вмешательства теперь переопределяется как деятельность по установлению первоначального содержания вычислительной системы и запуск ее последующую эволюцию. Таким образом, исследование компьютерного моделирования является экспериментом в прямом смысле, т. е. теперь вмешательство — запрограммированный цифровой компьютер (488). Исходя из этого, Паркер утверждает, что между компьютерными симуляциями существует онтологическая эквивалентность. И эксперименты и это, в свою очередь, позволяют претендовать на эквивалентность их эпистемической силы.

Примечательно то, что она не объясняет, что это значит для исследования компьютерного моделирования. Быть эпистемически мощным. Вместо этого она ограничивает аргумент утверждением, что эпистемология компьютерных симуляций должна отражать тот факт, что это наблюдаемое поведение компьютерной системы, которое заставляет экспериментировать с реальным материальным системой — и, следовательно, эпистемически мощная.

Влияние принципа материальности теперь можно сделать явным. Во-первых, Паркер утверждает, что требует, чтобы цифровой компьютер был «субстратом» для системы моделирует, так как это позволяет ей заявлять об онтологической эквивалентности между компьютерными симуляционными исследованиями и экспериментами. Кроме того, поскольку компьютерное моделирование исследование — это деятельность по приведению физических компьютеров в начальное состояние, запуск эволюции симуляций и сбор физических данных, о чем свидетельствуют распечатки и экранные изображения и т. д. (489), затем эпистемологическая ценность компьютерной симуляции исследований также соответствует опыту. В этом смысле эволюция поведения запрограммированного компьютера представляет материальные черты явления. моделируется. Наконец, понимание исследований элемента этого феномена оправдано его разницей на физическом компьютере. Исследования компьютерного моделирования и Таким образом, эксперимент онтологически равны как и их эпистемологическая сила.

Здесь я кратко изложил основные утверждения Паркера. Проблема с ее аккаунтом, Я полагаю, что до сих пор неясно, как вопреки иным рассуждениям материальности и цифрового компьютера как важного игрока в эпистемологии компьютерных симуляций. Позвольте мне выразить эту озабоченность другими словами. На мой взгляд, мотивация Паркера состоит в том, что обычно провернут аргумент материальности, показав, что компьютерное моделирование

и экспериментология одинаковы как и их эпистемология. Это движение, как я уже говорил, основано на том же материальности, которую она пытается опровергнуть. Тогда возникает вопрос, как уюроль играет материальность цифрового компьютерной игры оценок эпистемической силы исследования компьютерного моделирования? Позвольте мне теперь предложить три возможных интерпретации этого вопроса.

Во-первых, Паркер предполагает, что материальность цифрового компьютера играет фундаментальную роль «приведения в действие» целевой системы (т.е. приводит к причинному существованию моделируемого явления). Другими словами, изменения в поведении, которые учений наблюдает в физическом компьютере, являются эмпирическими предствлений встроены в компьютерную симуляцию. Таким образом, предствления, естественно, являются предствлениями целевой системы. Таким образом, физический компьютер ведет себя так, как будто он эмпирическое явление моделирует в запрограммированном компьютере. По этому поводу Паркер говорит: «Экспериментальная система в компьютерном эксперименте — это запрограммированный цифровой компьютер (физическая система, сделанная из проволоки, пластика и т.д.)» (Parker 2009, 488-489). Мне непонятно, использует ли Паркер метафору или вместо этого она призывает нас воспринимать эту ситуацию буквально. В (Dugan 2013b, 82) я называю эту интерпретацию «феноменом машины» и показываю как это технически получить невозможно.

Вторая возможная интерпретация состоит в том, что интересующая нас система является физической самой компьютер, независимо от предствляемой эмпирической системы. В этом сценарии исследователи запускают свои симуляционные компьютеры, обращая внимание только на изменения в поведении физического компьютера. Эти поведенческие изменения становятся сущностью исследования ученого, тогда как целевая система рассматривается только как исходная точка отсчета для построения имитационной модели. В этом контексте исследователи учатся, прежде всего, путем сбора информации о свойствах физического компьютера (то есть значениях его памяти и ответа на мониторе (Parker 2009, 488)). Если эта правильная интерпретация, то Паркер должен показать, что учений может когнитивно получить доступ к различным физическим состояниям компьютера, что-то, что она не может сделать. Философы рассуждают о том, возможно ли для доступа к различным местам внутри компьютера (например, к памяти, процессору, компьютерная шина и т.д.), и, по общему мнению эти места когнитивно недоступны для человека без посторонней помощи. Существует руководящий принцип эпистемологии непрозрачности, приписываемый ислительным процессам, которая исключает любую возможность когнитивного доступа к внутренним состояниям физического компьютера (см. в разделе 4.3). Более того, даже если быученые действительно могли получить доступ к этим местам... скажем, если бы им помогали другие компьютеры — до сих пор непонятно, зачем обращать к этим местоположениям будут иметь какое-либо отношение к пониманию результатов работы компьютера. моделирование.

Третья интерпретация заключается в том, что Паркер принимает материальность физического компьютера за играть определенную роль в интерпретации результатов (490). При этом интерпретация аппаратный сбой, ошибки округления и аналогичные источники и просчетов по-разному влияют на результаты моделирования. Поскольку это относится к компьютерам и вычислениям, то утверждение Паркера должно состоять в том, что физический компьютер воздействует на окончательные результаты компьютерного моделирования и, следовательно, их гносеологическая оценка.

оценки. Если это правильное толкование, то я считаю что она права. В главе 4 я представляю обсуждаю как исследователи могут узнать, что результаты компьютерного моделирования верны несмотря на множество исторических ошибок, связанных с исследованиями.

3.2.2 Материальные вещи как критерий

Стронник и «материальное материальное как критерий», возможно, являются лучшими интерпретаторами аргумента материальности. Согласно этой точке зрения, существуют фундаментальные и непримиримые онтологические различия между компьютерными симуляциями и экспериментами, причем последнее эпистемически выше. Есть две версии этой ученой записи: сильная версия и слабая версия.

Сильная версия утверждает, что причинные отношения, отнесенные к возникновению явления, также должны присутствовать в экспериментальной установке. Это означает, что эксперимент должен воспроизвести причинно-следственные связи, присутствующие в эмпирической системе. Таким образом, согласно сильной версии, эксперимент — это «кусочек» мира.

Возьмем в качестве примера луч света, используемый для понимания природы распространения света. В этом случае экспериментальная установка идентична целевой системе; то есть это просто исследуемая эмпирическая система. Из этого следует, что любое манипулирование экспериментальной установкой направлено на те же причины что и само явление, и что понимание природы света может быть достигнуто благодаря нашему пониманию онтологически экспериментального (то есть луча света (Гуала, 2002)).

Применительно к компьютерному моделированию сильная версия исходит из того, что простое формальное соответствие между компьютером и целевой системой обеспечивает достаточное основание для уменьшения статуса как эпистемологических установок. Если причинные отношения отсутствуют, то эпистемологическая сила выводов, сделанных таким образом о мире, снижается.

Слабая версия, с другой стороны, ослабляет некоторые условия, накладываемые сильной версией на эксперименты. Согласно этой точке зрения, компьютеризированный эксперимент требует только набора соответствующих причинно-следственных связей, которые вызывают явление. В этом случае стронник и слабая версии стремятся не к полному воспроизведению изучаемого явления, как это делает сильная версия, а скорее к набору релевантных причин, характеризующих поведение явления.

Давайте проиллюстрируем слабую версию на простом примере: волновой резервуар можно использовать как материальное представление света, тем самым обеспечивая понимание его природы как волны. Стронник у слабой версии достаточно не имеет репрезентативный набор причинно-следственных связей между экспериментальной установкой и целевой системой, чтобы первая могла дать некоторую представление о последней. Таким образом, отношение между экспериментом и явлением реального мира является одним из подмножеств всех причинных отношений. Кэмерон Вильсона регистрирует альфа- и бета-частицы также, как их может измерять счетчик Гейгера, но ни один из этих приборов не является «кусочком» изучаемого явления и не взаимодействует полностью со всеми видами частиц. Следует, что

экспериментальная практика, примером которой является обнаружение и измерение частот, зависящих от сложного, но неполного набора причинно-следственных связей, существующих между экспериментальной установкой и целевой системой.

Применительно к общей оценке компьютерного моделирования слабая версия представляет более сложную богатую картину, которая дает степень материальности и приписывает компьютерному моделированию

Однако, несмотря на эти различия, обе версии придерживаются одной и той же точки зрения на компьютерное моделирование; а именно, что они эпистемически ниже экспериментов. Это утверждение вытекает из предположения ранее онтологически окончательности или исходит из того же обоснования, которое лежит в основе принципа материальности.

3.2.2.1 Сильная версия

Я считаю, что Франческо Гуала отставляет сильную версию, когда он предполагает, что эксперимент воспроизводит причинные отношения, присутствующие в явлении. В этом отношении он с самого начала предполагает существование фундаментальных различий между компьютерным моделированием и экспериментами, основанными на причинно-следственных связях.

Различие заключается в характере отношений, существующих между, с одной стороны экспериментальной и ее целевой системой, а с другой — моделирующей и ее целевой системой. в

В первом случае соотношение имеет место на «глубинном», «материальном» уровне, тогда как во втором сходство, по общему признанию только к «абстрактное» и «формальное» [...] В подлинном эксперименте одно и то же «материальное» причинно-следствие в системе-мишеней в симуляционных нет, и отношение соотношения (подобия или аналогии) носит чисто формальный характер (Guala 2002, 66-67. Акцент мой).

По мнению Гуалы изменения материальности и их эпистемологическая сила могут понимать с точки зрения обмена «одинаковым» и «различным» материалом. Дело волновой резервуар является парадигматическим в этом отношении. По словам Гуалы СМИ в покоем распространяются волны состоят из «разного» материала: в то время как одна среда — вода, другой светлой. Таким образом, волновой резервуар представляет собой волновую природу света. только к потопу, что есть сходство в поведении на очень абстрактном уровне (т. е. уровень уравнений Максвелла, волновое уравнение Даламбера и закон Гука). Две системы подчиняются «одним и тем же» законам и могут быть представлены «одним и тем же» набором уравнений, несмотря на то, что они сделаны из «другого» материала. Однако волна в воде не световые волны различаются в материальности и предполагает различие в эпистемическое понимание природы (66).

Пример волнового резервуара экспериментально рапирован на исследования компьютерного моделирования, поскольку он позволяет Гуале утверждать, что онтологически различие между экспериментами и моделированием так же является основанием для эпистемологически различий (63). Его лояльность к такому образу, принцип материальности не подлежит сомнению существует четкое различие между тем, что мы можем узнать и понять путем прямого экспериментирования, и чему мы можем научиться с помощью компьютерного моделирования. Эпистемический выигрыш последнего меньше, чем первого. и это потому, что, с этой точки зрения, существует онтологически приверженность причинности как эпистемически выше, что определяет эпистемологический компьютерных симуляций.

Позвольте мне теперь рассмотреть несколько возражений против точки зрения Гуалы Паркер возразил, что его позиция слишком ограничивает экспериментальную также компьютерные исследования. симуляции (Паркер 2009, 485). Я согласен с ней в этом вопросе. Концептуализация Гуала экспериментов и компьютерного моделирования накладывает искусственные ограничения на это, и другое трудно подкрепить примерами из научной практики. Более того, и дополняя возражение Паркера, я полагаю, что Гуала принимает точку зрения, которая рассматривает оба вида деятельности как хронологически взаимодополняющие: то есть компьютерное моделирование становится актуальным инструментом, когда эксперимент невозможен. реализовано. STRATAGEM, компьютерное моделирование стратегий, дает нам с примером здесь: когда геологист алкаются с трудностями в проведении контролируемые эксперименты формирования пластов, они обращаются к компьютерному моделированию как наиболее эффективную замену (2002, 68)⁸. Такая тенденция к раздельной оценке двух видов деятельности является естественным следствием использования компьютеров. симуляции эпистемическую уступают экспериментам. Другими словами, это естественным следствием принятого принципа существования.

3.2.2.2 Слабая версия

В качестве стеснительной слабой версии обращусь к работе Мэри Морган. У нее есть предоставил самый богатый и исчерпывающий анализ, который в настоящее время можно найти в литературе о носительных различиях между экспериментами и компьютерным моделированием.

Морган в первую очередь занимается так называемыми заместительными экспериментами, то есть:

Эксперименты включающие элемент материальности либо в свои объекты либо в свои интервенции и возникающие в результате естественного использования моделей и экспериментов, комбинации что привело к созданию ряда интересных гибридных форм (Morgan 2003, 217).

Обозначив таким образом черты подстановных экспериментов, она затем обращается к вопросу о том, как они обеспечивают эпистемическую основу для эмпирического вывода. Вкратце, чем больше «вещей» задействовано в заместительном эксперименте, тем более он эпистемически надежен. становится. Проще говоря, степени существования определяют степени надежности. Как отмечает Морган, «на основании выводов экспериментостается предпочтительным». способ исследования, потому что онтологическая эквивалентность обеспечивает эпистемологическую силу» (Морган 2005, 326).

Таким образом, Морган придерживается слабой версии, поскольку заместительный эксперимент характеризуется разной степенью материальности, в отличие от сильной версии, согласно которой считается, что экспериментально должны быть «кусочки» мира. С точки зрения материальности в принципе, однако, принципиальных различий между двумя версиями нет: она также считает, что онтология определяет эпистемологическую ценность компьютерного моделирования. Разница опять-таки заключается в детальной анализе различных видов экспериментальной связи с научной практикой. Позвольте мне теперь кратко обратиться к ее рассказу.

Как отмечалось выше, викториозные эксперименты можно классифицировать в зависимости от их степени материальности, то есть различные степени материальности объектов.

⁸ Гуала допускает, что экспериментальное компьютерное моделирование являются подходящими инструментами исследования. производители знаний, как он их называет, хотя только для разных онтологических (2002, 70).

присутствует в экспериментальной установе. В таблице 3.1 представлены четыре класса экспериментов: идеальный лабораторный эксперимент (также называемый экспериментом с материалом), два вида гибридных экспериментов, наконец, эксперимент с математической моделью. Как видно из таблицы классификация осуществляется с точки зрения вида контрроля над классом эксперимента, методов демонстрации и надежность полученных результатов, степени существенности и репрезентативности каждого класса.

Первый и последний классы намного лучше известны примером идеального лабораторного эксперимента является луч света, ибо он требует от ученого усилий по изоляции системы от контрроля над мешающими факторами и вмешательств в условиях эти условия контрроля. С другой стороны примером эксперимента с математической моделью может служить знаменитая математическая задача о семи мостах Кенигсберга; то есть класс экспериментов, контррольные требования к опытным данным за счет упрощения предположений, чей метод демонстрации основан на дедуктивном математическом/логическом методе, а материальность к опыту, как и ожидалось, отсутствует (Morgan 2003, 218).

Среди множества способов, которыми различаются эти два класса экспериментов, Морган выделяет те ограничения, которые накладываются естественным образом через физическую упрощенность, и те, которые накладываются искусственно через предположения:

Действие природы создает границы ограничения для экспериментатора. Конечно, в математической модели также есть ограничения, но критический момент заключается в том, совпадают ли сделанные в ней допущения с предположениями о представляемой ситуации, и в самой математической нет ничего, что могло бы гарантировать, что они (220).

Между тем, гибридные эксперименты можно рассматривать как эксперименты между двумя другими: они не являются ни полностью материальными, ни полностью математическими. Таким образом, подклассом виртуальных экспериментов понимаются такие, «в которых мы проводим нематериальные эксперименты» (или с) полуматериальные объекты, в то время как виртуальные эксперименты — это те, «в которых мы проводим нематериальные эксперименты но которые могут включать некоторые имитационные материальные объекты» (216). В табл. 3.1 снова приведены свойства всех четырех видов заместительных экспериментов, показывающие их репрезентативные отклонения и отклонения вывода.

Различия между виртуальными и виртуальными экспериментами можно проиллюстрировать на примере крошечной бедренной кости, используемой в качестве заместителя внутренней структуры человеческой кости. Для проведения такого эксперимента, как правило, есть два варианта: можно использовать высокоточное трехмерное изображение тазовой кости, создающее подробную картину строения кости, или, как вариант, компьютеризированное трехмерное изображение сканированной кости. Кость; то есть компьютеризированная трехмерная сетка, представляющая структуру сканированной кости. По словам Моргана, трехмерное изображение имеет более высокую степень правдоподобия структурной реальности тазовой кости, потому что оно является более точным ее представлением, отличное от математизации, представляющей компьютеризированной трехмерной сеткой (230).

⁹ Морган говорит об этом: «[b] Анализируя, как работают эти различные виды гибридных экспериментов, мы можем предположить, так сомноги гибридных вещей между ними, которые включают в себя виртуальные эксперименты (полностью нематериальные в предмете изучения и вмешательств, но которые могут включать в себя имитационные модели) и виртуальные эксперименты (почти материальный эксперимент в силу виртуального материального объекта ввода)» (Morgan 2003, 232).

Таблица 3.1 Типы экспериментов: идеальная лаборатория, гибридные математические модели с репрезентативными отклонениями (Morgan 2003, 231).

идеальная лаборатория	Гибридные эксперименты		математический
эксперимент			модельный эксперимент
Практический		Виртуальный	
Элементы управления:			
Входные экспериментальные экспериментальные на предположимых			предположимый
Экспериментальные данные вводят в; предположимый предположимый			предположимый
Окружающая среда, экспериментальная по предположимому вводят в и			предположимый
окружающая среда			
Демонстрационное экспериментальное моделирование: эксперимент / метод			Дедуктивный
в лабораторной математике с использованием модельного объекта в модели			
Степень существования:			
Входной материал	полуматериальный	нематериальный	математический
Материал вводят в	нематериальный	нематериальный	математический
Выходной материал	нематериальный	не- или	математический
		псевдоматериал	
Представляя представляя ... и отклонений вывода		представляя в...	
... к тому же в мире обратное к другим видам			
представляя для...		вещи в мире	
... на подобное в мире...			

Первые называются практическим экспериментом, тогда как вторые называются виртуальными экспериментами

Каковы различия между всеми этими различными видами экспериментов?

Как показано в таблице 3.1, в то время как виртуальный эксперимент является полуматериальным или нематериальным, идеальная лабораторная экспериментальная модель материальна. Также демонстрационные методы так же существенно различаются. Отличия виртуального эксперимента от математической модели, с другой стороны, кажутся, находится исключительно в методе докázatельства, которое является экспериментальным для первого и дедуктивным для второго.

Морган также упоминает, как моделируются на фондовом рынке, несмотря на то, что они являются математическими моделями, смоделированные на компьютере, могут быть отнесены к категории виртуального эксперимента на основании входных данных и наблюдений за результатами (225). Границы между одноклассными экспериментальными фиксированными зависят от факторов, внешних по отношению к рассматриваемому эксперименту. Например, если сетка крошечна и жесткая, использование реальных измерений крошечных и жестких исходных данных, то, что изначально виртуальный эксперимент становится фактическим экспериментом.

Эпистемологический анализ есть функция степени материальности класса.

эксперимент: «онтологическая эквивалентность обеспечивает эпистемологическую силу» (Morgan 2005, 326), как указывает Морган. Обратный вывод о мире из экспериментальной системы может быть лучше оправдан, когда эксперимент и целевая система несовместимы

отже материал. Как объясняет Морган: «Онтология важна, потому что она затрагивает силу вывода» (324). Компьютерное моделирование, например, не может проверить теоретические допущения представляемой системы, потому что оно было разработано для

получение результатов, соответствующих встроеным предположениям. Лабораторный эксперимент, на другой стороне был специально разработан для подтверждения фактов о цели системы «говорят» сами по себе. Таким образом, согласно Моргану, именно материальный субстрат, лежащий в основе эксперимента, отвечает за его эпистемическую силу. Следовательно, но идеальный лабораторный эксперимент эпистемически и мощнее виртуального эксперимента; в свою очередь, виртуальный эксперимент более мощный, чем виртуальный эксперимент, и так далее. Поскольку компьютерное моделирование можно рассматривать только как гибридные эксперименты или как материализацию экспериментов отсюда следует, что они всегда менее эпистемически сильны, чем идеальные лабораторные эксперименты. Таким образом, по мнению Моргана, степени материальности, определяющие степени эпистемической силы

В этом контексте Морган использует термины «удивление» и «замешательство», чтобы описать эпистемическое состояние ученого в отношении результатов компьютерного моделирования и материальный эксперимент соответственно. Результаты компьютерного моделирования могут только удивить ученого, потому что его поведение можно проследить и заново объяснить в соответствии с базовой моделью. Материальный эксперимент, с другой стороны, может как удивить, так и сблизить с толку ученого, поскольку он может открыть новые и неожиданные области модели поведения, необъяснимые с точки зрения современной теории (Морган 2005, 325), (Морган 2003, 219). Таким образом, материальность эксперимента работает как эпистемологическая гарантия того, что результаты могут быть новыми, а не симуляцией, которую считает, что результаты могут быть объяснены с точки зрения базовой модели. Это подразумевает, как идеи Моргана относят эксперименты и компьютерное моделирование несут на себе печать принципа материальности. Он демонстрирует то же обоснование, помещая материальность как преобладающий признак эпистемологической оценки.

Несмотря на сильный акцент Моргана на том месте, которое материальность играет в открытии новых явлений, есть примеры виртуальных экспериментов, эпистемологическая мощность явно превосходит любой идеальный лабораторный эксперимент. Возьмем в качестве простого примера динамику разрушения материалов. невозможно ничего узнать о микротрещинах без помощи компьютеров. Действительно, только вычислительная эффективность методов конечных элементов и многомасштабная сильная неоднородность могут сказать нам кое-что о микротрещинах материалов (Linder 2012). Урок здесь состоит в том, что понимание чего-либо о мире не обязательно исходит из материальных экспериментов или из любой степени материальности вообще. Ни поле эксперимент, ни трехмерное изображение высокой четкости не дали бы понимания о динамике микротрещин, которая может быть обеспечена точным материализованным моделью.

3.2.3 Модели как (все) посредники

Последним в моем списке является то, что я назвал «моделями как (все) посредниками». Как Судя по названию на это описание окладывали непосредственное влияние книги Моргана и Моррисона «Модели как посредники» (Morrison 2009). Книга представляет собой защиту посреднической роли моделей в научной практике, поскольку считает, что научная практика не теорией, а не только о прямом манипулировании явлениями реального мира. В-

напрот ив, науч ная прак тик а нужд ает ся в посре дн ич ест ве моде лей, ч т о бы д об ит ь ся успе ха в дост иже ния сво их ц елей. Те ория, та к им обра зом, не может бы т ь непосред ст венно приме нена к яв лению т . но т оль ко посре дст вом моде лей; аналог ич но, в эк сперимент аль ной прак тик е моде ли от обра жаю т данные из мерений и набл юд ений в дост упной форме

для науч ного испол ьз ования. Далее я сосре дот оч усь на посре дн ич еск ой роли моде лей в эк сперимент аль ной прак тик е, поск оль ку ст оронник ом моде лей ка к под хо да (полных) посре дн ич ов яв ляет ся боль ше за инт ересован в анализ е ко мп ь ютерных симуляц ий в свет е эк сперимент ов. Я буду та к им обра зом, не анализ ирует ся опосреду ющая роль моде лей в ко нт ек ст е те ории (см. обсужде ние в пред ьдущей главе).

По мнению ст оронник а моде лей ка к уч ет а (т от аль ных) посре дн ич ов, эк сперимент аль ная прак тик а состо ит в получ ении посре дст вом манипулирования явлениями данных. ко т орь сообщает нам об определен ных свойст вах, пред ст авляющ их инт ерес. Од на ко эт и данные нахо дят ся в та к ом необработ анное состо яние, ч то его нель зя сч ит ать наде жным или репрез ент ат ивным для из меренных или набл юда емых свойст в. Ско рее, для то го, ч т о бы эт и необработ анные данные имели ка ко ели бо науч ное знач ение, его необходимо до полнит ель но обрабо т ать, от филь т ровав шум, исправив знач ения, внед рив приемы исправления ошибок и т. д. Эт и ко ррек т ирующие приемы про водят ся те орет ич ески ми моде лями и, ка к та ко вые, несут от вет ст венност ь за пред ост авление наде жных данные.

Та к им обра зом, науч ная прак тик а понима ет ся ка к силь но опосредованная моде лями; и науч ное знач ение боль ше не дост иг ает ся иск люч ит ель но благод аря нашему вмеша т ель ст ву в мир, но та к же и посре дст вом ко нц епт уаль ного посре дн ич ест ва, ко т орое пред ст авляет от ноше ние моде л ь /мир. В эт ом вене, эпист емолог ич еский анализ те пер ь ка са ет ся данных, от филь т рованных, ско ррек т ированных, и учт о няю т ся моде лями, а не необработ анными данными, собранными пут ем прямо го манипулирования реаль ный мир.

Ко мп ь ютерное моделирование должно лег ко вписыв ать ся в эт от новый образ науч ной прак тик и. Можно подум ать, ч то поск оль ку они за думаны ка к моде ли, реализованные на цифров ой ко мп ь ютере, то их резуль т ат ь должны бы т ь данными, произ вед енными наде жной моде лью в прямой смысл. Ко сожалению эт о не то, ч то ст оронник моде лей ка к (всего) посре дн ич ов имеет в виду. Для нее правил ьно бу дет ска за т ь, ч то ко мп ь ютерное моделирование яв ляю т ся моде ли, работ ающие на цифров ом ко мп ь ютере, и та к же правил ьно ска за т ь, ч то сущест вует ник а ко го вмеша т ель ст ва в мир в эмпирич еском смысле. Те м не менее данные, получ енные в резуль т ат е моделирования, яв ляю т ся «сыр ьми» в то м же смысле, ч то и данные, собранные науч ного инст румент а.¹⁰ Прич ина эт о го в то м, ч то сущест вуют мат ериаль ные особенност и

целевая сист ема, ко т орые моделиру ют ся в симуляц ии и, та к им обра зом, пред ст авлены в ко нч ат ель ные смод елированные данные (53). Та к им обра зом, смод елированные данные необходимо под верг нут ь послед ующей обрабо т ке с по мощ ью до полнит ель ной те орет ич еской моде ли то ч но та к же, ка к и необработ анные данные. Друг ими слова ми, моделиру ет ся данные та к же должны бы т ь от филь т рованы исправленны учт о нены дру гим набором моде лей, ч т о бы получ ать данные, ко т орые могут бы т ь наде жно испол ьзованы в науч ной прак тик е. Онтолог ич ески го воря, то гда нет ник а кой раз ниц ь между данными, получ енными науч ным прибор ом и данные, получ енные с по мощ ью ко мп ь ютерного моделирования. Эт и резуль т ат ь подт вержда ют вержде ние ч то о межд у эт ими двумя ти пами данных та к же нет эпист емолог ич еских различ ий.

¹⁰ Ч т о бы раз дел ить эт и два поня т ия данных, я буду продол жат ь ссыла т ь ся на данные, собранные науч ным прибор ом ка к «необработ анные данные», в то время ка к я буду ссыла т ь ся на данные, получ енные пут ем запуск а ко мп ь ютерное моделирование ка к «симулированные данные».

Позвольте мне теперь немного подробнее остановиться на этих моментах. В 2009 году Маргарет Моррисон опубликовала фундаментальный вклад в дискуссии об измерении в контексте компьютерных симуляций. В этой работе она утверждает, что определенные типы компьютерных симуляций имеют тот же эпистемологический статус, что и экспериментальные измерения. Поэтому что оба вида данных онтологически и эпистемически сопоставимы.

Чтобы проиллюстрировать это, давайте рассмотрим пример из измерения g силы.¹¹ При экспериментальном измерении, утверждает Моррисон, научный инструмент измеряет физическое свойство с определенной степенью точности, хотя так оно измерение не обязательно будет отражать точное значение этого свойства. Разница между точностью и кумулятивной погрешностью имеет первостепенное значение для Моррисона. Здесь: в то время как первое связано с экспериментальной практикой, вмешательство в природу — или вычисление модели в моделировании — последнее связано с посредничеством моделей как предоставлением надежных данных. В этом контексте точное измерение состоит из набора результатов, где степень неопределенности очевидного значения относится к невеликому (Morrison 2009, 49); с другой стороны точное измерение состоит из набора результатов, близких к истинному значению измеренного физического свойства.¹²

Различие между этими двумя концепциями составляет краеугольный камень стратегии Моррисона: данные, собранные с помощью экспериментальных приборов, дают только точные данные. Измерения g , тогда как надежные измерения должны быть прежде всего точными предствлениями измеряемой величины. Именно в этом контексте Моррисон считает, что необработанные данные должны подвергаться постобработке в поисках точности (для контекста). В случае измерения g Моррисон предлагает идеальный точечный маятник в качестве теоретического моделирования.

Таким образом, с точки зрения Моррисона, надежность измеренных данных является функцией уровня точности, который зависит скорее от теоретической модели, чем от научного прибора — или на компьютерном моделировании.

Уровень сложности экспериментальной аппаратуры определяет точность измерения, но именно анализ поправочных коэффициентов определяет точность. В других словах, способ применения допущений моделирования определяет, насколько точно будет измерение g на самом деле. Это различие между точностью и кумулятивной погрешностью важно. — точная совокупность измерений дает оценку, близкую к истинному значению величины. Измеряется, а точное измерение — это так оно измерение, при котором неопределенность в оценке значения небольшая. Чтобы убедиться в этом, наше измерение g является точным, нам нужно полагаться на широко используемую информацию о помощи юных методов моделирования/предположений (49).

Компьютерное моделирование, как и научные инструменты, разделяет также участь быть точным, но не точным. Для последнего точность зависит от физических ограничений при измерении реального мира; для первого точность проявляется в форме физических и логических ограничений в вычислениях (например, ошибок округления, усечения

¹¹ Моррисон также обсуждает более сложный пример измерения спина (Morrison 2009, 51).

¹² Разница между точностью и кумулятивной погрешностью юпоказана Франклином в следующем примере: «измерение скорости света $c = (2,000000000 \pm 0,000000001) \times 10^{10}$ см/с является точным, но не точное, а измерение $c = (3,0 \pm 0,1) \times 10^{10}$ см/с точное, но имеет меньшую точность» (Франклин 1981, 367). Дополнительные сведения о точности и прецизионности см. в главе 4.

ошибки и др.). Таким образом, дихотомия точность / точность применима к компьютеру, симуляции так же, как это происходит с экспериментальными измерениями, что делает обе практики тавтологически равными на уровне точных данных и эпистемически равными на уровне точных данных. Понимая таким образом аргумент сущест венности так же присут ст вует здесь: равные онтология определяют равную эпистемологию. Именно это и было целью юанализа Моррисона: «Связь между моделями и измерениями — это то, что обеспечивает основу для рассмотрения определенных типов результатов моделирования как эпистемически наравне с экспериментальными измерениями или даже как сами измерения» (36).

В конце концов, Моррисон применяет философию моделирования и экспериментирования на философию компьютерного моделирования. Это так же след ст вие следования принципатериальности, то есть компьютерное моделирование не анализируется как таковое, а только в свете более привычной философии. Делая необработанные данные и смоделированные данные онтологически равными по обработке. На эпистемологически эмпирически Моррисон применяет модельные методы к компьютерному моделированию независимо от особенностей последнего. Имея в виду этот шаг, Моррисон так же сужает класс компьютерных симуляций до тех, которые используются в качестве упрощения; и при этом она сужает эпистемологический анализ до этих симуляций. Вопрос, который остается открытым, заключается в том, работает ли стратегия Моррисона. Для всех видов компьютерного моделирования (т. е. для тех, которые используются с целью отклонения от измерения).

3.3 Заключение и некоторые замечания

Многие исследователи используют компьютерное моделирование, как если бы оно было надежным экспериментальным устройством. Такая практика предполагает, что симуляции эпистемически наравне с лабораторными экспериментами. Другими словами, компьютерные симуляции рендерятся в как минимум столько же и как естественно хороших знаний об окружающем эмпирически мире в качестве стандартного лабораторного эксперимента. Но это необоснованное предположение, если не будут приведены причины подтверждающие эпистемологически утешительность компьютеров. симуляций.

После обсуждений в этой главе мы замечаем, что уверенность На исследователя, использующего компьютерное моделирование, может повлиять «аргумент сущест венности». Этот аргумент говорит о том, что наша совокупность научных знаний приспособлена к независимости выявления физических причинно-следственных связей, взаимодействующих в эмпирически мире. Компьютерные симуляции для многих являются абстрактными системами, которые представляют собой столько явления реального мира. Отсюда следует, что лабораторные эксперименты радиационные источники, которые подпитывают совокупность научных убеждений, по-прежнему обеспечивает наиболее надежную Путь познания и понимания мира. Отсюда следует прямой вывод: исследователи должны предпочесть эксперименты а не компьютерное моделирование. при равных условиях.

Но мы должны отметить под сомнение, так ли это на самом деле. Есть много примеры когда компьютерное моделирование на самом деле является более надежным источником знаний.

к рай о мире, ч емт радиц ионные эксперименты Поч ему это так? поч ему наст оль ко ли уверены исследователи в возможность и использования компьютерного моделирования для получения представления о мире? Эти вопросы требуют так о го философского подхода на экспериментах и компьютерных симуляциях, которые представлены в этой главе.

В главе представлены различные взгляды на то, как философы в настоящее время понимают эпистемологическое исследование компьютерных симуляций. Я покажу, что все три использования тоже обоснование, что и руководит во для их аргументации. Я назвал это объясняют принцип материальности, и я осмысливаю его как философское приверженность онтологическому описанию компьютерных симуляций и экспериментов, что определяет окончательную эпистемологическую силу.

Общий вывод состоит в том, что философы принимающие принцип материальности с меньшей вероятностью отказываются от личительные черты эпистемологии компьютерных симуляций, чем те, кто этого не делает. Заключение скромное и направлено на поощрение определенных изменений в философском подходе к компьютерному моделированию. Для Например, Ануф Барберус, Сара Франчеселли и Сирил Имбер (Барберус, Franceschelli, Imbert 2009) внесли важный вклад в понятие данных, смоделированных компьютером, и Пол Хамфрис продолжил их работу, проанализировав понятие данных более подробно (Хамфрис, 2013). Еще одним примером является роль компьютерного моделирования в моделировании климата. Венди Паркер в ней (Parker 2014) и Йоханнес Ленхард и Эрик Винсберг (Ленхард и Винсберг, 2010).

Несмотря на эти прекрасные работы предстоит сделать гораздо больше. На мой взгляд, потенциально плодотворной областью исследований является пересмотр некоторых классических тем философии науки и через призму компьютерного моделирования. В этом смысле обзор традиционных представлений об объяснении, предсказании, исследовании и т. п. могут работать в качестве отправной точки.¹³

Оно очевидно, что существует способ заниматься философией науки, который имеет прочную основу. на эмпирическом исследовании, и включает в себя эксперимент. Руководящий эпистемологический принцип состоит в том, что окончательный источник знания достигается взаимодействием манипулирование миром. Однако непрекращающийся успех компьютерного моделирования ставит эти принципы под сомнение: во-первых, существует растущая тенденция к репрезентации, а не вмешательству в мир в той или иной мере, выискиваемый методы от алкиванга людей от центра эпистемологического предпрятия (Хамфрис 2009, 616). Единственный определенный вывод состоит в том, что философская исследовательская эпистемологическая мощь компьютерных симуляций имеет трудную задачу.

предстоящий.

Рекомендации

Аккеманн, Роберт. 1989. «Новый экспериментализм». Британский журнал для Философия науки 40 (2): 185–190.

¹³ Я рассматриваю эти предпрятия в главе 5.

Аристотель. 1965. *История животных*. Издательство Гарвардского университета.

Барберус, Анука, Сара Франчеселли и Сирил Имбер. 2009. «Компьютерный симулятор как эксперимент». 169 (3): 557–574.

Бейсбарт, Клаус. 2017. «Являются ли компьютерные симуляционные эксперименты? Если нет, то как они связаны друг с другом?» *Европейский журнал философии наук* 1: 1–34.

Доу, Фил. 2000. *Физическая причинность*. Издательство Кембриджского университета.

Джордан, Хуан М. 2013а. «Краткий обзор философского исследования компьютерного моделирования». *Информационный бюллетень АПА по философии и компьютерам* 13 (1): 38–46.

———. 2013б. «Использование аргумента материальности в литературном компьютерному моделированию». В книге «Компьютерное моделирование и меняющиеся лица научных экспериментов», под редакцией Хуана М. Джордана и Эдварда Арнольда, 76–98. Издательство Кембриджских ученых.

Франклин, Аллан. 1981. «Что делает эксперимент хорошим?» *Британский журнал для философии наук* 32 (4): 367–374.

Гир, Рональд Н. 2009. «Изменяет ли компьютерное моделирование характер экспериментов?» *Философские исследования* 143 (1): 59–62.

Гуала, Франческо. 2002. «Модели, моделирование и эксперименты». В модели на основе Рассуждения: наука, технология, ценность, под редакцией Л. Маньяни и Н. Дж. Нерсесяна, 59–74. Кларк Академик.

Хэнсон, Норвуд Рассел. 1958. *Образцы кривых: исследование окончательных основ наук*. Издательство Кембриджского университета.

Хартманн, Стефан. 1996. «Мир как процесс: моделирование в естественном и социальном науках». В моделировании и симуляции в социальных науках от Философии наук и точного зрения, под редакцией Р. Хегзельмана, Ульриха Мюллера, и Клауса Г. Троича, 77–100. Спрингер.

Хамфрис, Пол В. 2009. «Философская новинка компьютерного моделирования. Методы». *Синтез* 169 (3): 615–626.

———. 2013. «О чем дань?» В книге «Компьютерное моделирование и меняющиеся лица научных экспериментов» под редакцией Хуана М. Джордана и Эдварда Арнольда. Издательство Кембриджских ученых.

Ленхард, Йоханнес и Эрик Винсберг. 2010. «Холлизм, укреплению и будущее плюрализма климатической модели». *Исследования по истории и философии наук и Части В - Исследования по истории и философии современной физики* 41 (3): 253–262. ISSN: 13552198. <http://dx.doi.org/10.1016/j.shpsb.2010.07.001>.

Линд ер, К . 2012. «Ч исленное исслед ование мод ели насыщения эк споненц иаль ного элек т рич еск ого смещения при разрушении п ь ез оэлек т рич еск ой к ерамик и». Т ехнич еск ий Механик 32: 53–69.

Массими, Мик ела и Вахид Бхимджи. 2015. «К омп ь юг ерное мод елирование и эк сперимент ы случ ай бозона Хиг гса». Исслед ования по ист ории и философии Науч ная ч асть В: Исслед ования по ист ории и философии современной физ ик и 51: 71–81. По сост оянию на 7 июня 2016 г .

Мэйо, Д ебора Г. 1994. «Новый эк сперимент ализм, ак т уаль ные гипот езы и Уч ит ь ся на ош ибк ах». PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association 1:270–279.

Морг ан, Мэри С. 2003. «Эк сперимент ы без мат ериаль ного вмещат ель ст ва». В «Философии науч ного эк сперимент ирования» под ред ак ц ией Ханса Радд ера, ст р. 216–235. Университ ет Пит т сбург Пресс.

———. 2005. «Эк сперимент ы прот ив мод елей: новые явления, выводы и сюрприз ы». Журнал эк ономич еск ой мет од ологии 12 (2): 317–329.

Моррисон, Марг арет . 2009. «Мод ели, из мерения и к омп ь юг ерное мод елирование: Из менение облик а эк сперимент ов». Философск ие исслед ования 143 (1): 33–57.

Парк , Эмили С. 2014. «Эк сперимент ы мод елирование и эпист емич еск ая привилег ия». философия наук и 81 (4): 516–536.

Парк ер, Венди С. 2009. «Имеет ли знач ение дейст витель но знач ение? К омп ь юг ерное мод елирование, эк сперимент ыи мат ериаль ност ь ». Синт ез 169 (3): 483–496.

———. 2014. «Мод елирование и понимание в из уч ении пог од ы и климат а». Перспек т ивы наук и 22 (3): 336–356.

Вебер, Марсель . 2005. Философия эк сперимент аль ной биологии. К ембриджск ий университет Нажимат ь . ISBN: 978-0-511-49859-6.

Винсберг, Эрик . 2009. «Повест ь о двух мет од ах». 169 (3): 575–592.

Глава 4

Доверят ли компьютерным симуляциям

Полагаться на компьютерное моделирование и доверять его результатам — ключ к эпистемологическому будущему этой новой исследовательской методологии. Вопросы к оторые интересуют нас в этой главе, заключаются в том, как исследователи обычно добиваются надежности компьютерного моделирования? и что именно означает доверять результатам компьютерного моделирования? Когда мы пытаемся ответить на эти вопросы, возникает дилемма. С одной стороны кажется, что машина не может быть полностью надежной в том смысле, что она не способна выдавать абсолютно правильные результаты. Нескольким вещам могут пойти не так и обычно идут не так: от систематической вычислительной ошибки до неосторожного исследования, которое спотыкается о шнур питания. Это правда, что исследователи разрабатывают методы создания инфраструктуры, предназначенной для повышения надежности компьютерного моделирования и его результатов. Однако абсолютная точность и прецизионность по своей сути являются химерой в науке и технике.

С другой стороны исследователи доверяют результатам компьютерного моделирования — и важно, чтобы мы прояснили, что такое доверие, — потому что они делают правильную (или приближенно правильную) информацию о мире. С помощью компьютерного моделирования исследователи могут предсказывать будущие состояния реальной системы, объяснять, почему происходит то или иное явление, и выполнять множество стандартных и новых научных действий.

Эта дилемма выдвигает на первый план различие, которое не всегда четко выражается в научном и технологическом языке, но, тем не менее, является центральным для оценки доверия к компьютерному моделированию. Различие между знанием того, что результаты верны и пониманием результатов. В первом случае исследователи знают, что результаты верны, потому что компьютерное моделирование является надежным вычислительным процессом.¹ Но это не означает, что исследователи также поняли результат компьютерного моделирования. Чтобы понять их, нужно уметь связать результаты с более широким корпусом научных убеждений, таких как научные теории, законные действующие принципы управляющие природой. Зная и понимая результаты компьютерного моделирования, исследователи также знают и понимают кое-что о моделируемой целевой системе.

¹ Поскольку у нас нет названия компьютерное моделирование методами, мы могли бы в равной степени сказать, что они являются надежными вычислительными методами. Я использую их неразличимо.

Ч аще всего исследователи просто ссылаются на результаты своих симуляций, говоря: «мы проверяем наши результаты» или «мы проверяем наши компьютерные симуляции», имея в виду, что они знают, что результаты верны (или приблизительно верны) для целевой системы, что они понимают, почему они верны (или приблизительно верны) для целевой системы или того и другого. Главная цель этой главы — осветить это различие и его роль в

компьютерном моделировании². Философы уже давно утверждают, что знание и понимание — это два разных эпистемологических понятия, и поэтому их следует рассматривать отдельно. В первом смысле исследователи проверяют компьютерному моделированию, когда знают, что результаты являются хорошим приближением к реальным измеренным и наблюдаемым данным. Во втором смысле исследователи проверяют компьютерному моделированию, когда понимают результаты и то, как они соотносятся с корпусом научных убеждений. Разницу можно показать на простом примере. Можно знать, что $2 + 2 = 4$, не разбираясь в арифметике. Конечно, можно провести аналогичное компьютерное моделирование. Исследователи могут знать, что смоделированная траектория данного спутника в условиях приливного стресса верна реальной траектории, не понимая, почему возник акт всплеска в моделировании (см. рис. 1.3).

Ввиду этого различия возникают два разных вопроса, а именно: «Как исследователи узнают, что результаты моделирования верны для целевой системы» и «Какое понимание может быть получено?» Ч тобы ответить на первый вопрос, нам необходимо обсудить доступные методы повышения надежности компьютерного моделирования, а также жесточайшие ошибки и непрозрачность, которые снижают точность. Ч тобы ответить на второй вопрос, нам нужно обратиться к некоторым из многих эпистемических функций, предлагаемых компьютерным моделированием. Таким образом, первый вопрос является предметом этой главы, тогда как второй вопрос является предметом следующей главы. Начнем с того, что проясним различие между знанием и пониманием³.

² Позвольте мне четко указать, что следующий анализ имеет серьезные обязательства по представлению целевой системы. При выборе этого пути исключается то, что большинство исследователей больше интересуют компьютерное моделирование, реализующие модели, представляющие целевую систему. Однако возможна и желательна и непредставительная точка зрения, то есть та, которая признает, что так или иначе утверждения, как «результаты предполагают повышение температур в Арктике, как предсказывает теория» и «результаты согласуются с экспериментальными результатами», являются обоснованные заявления, а не просто «результаты целевой системы верны». Это сдвиг означает, что компьютерное моделирование является надежным процессом, несмотря на то, что оно не представляет целевую систему.

³ Знание и понимание — это понятия, выражающие наши эпистемологические соображения, и в некотором смысле их можно считать «ментальными». Если это так, то нейробиология и психология являются дисциплинами, лучше подготовленными для объяснения этих концепций. Другой способ анализа состоит в изучении понятий самих по себе,抛开 их допущений и следствий, изучении их логических структур. Именно в последнем смысле философы обычно обсуждают понятия знания и понимания.

4.1 Знание и понимание

Согласно стандартным теориям, знание состоит в наличии причин верить в факт, так же известном как «описательное знание» или «знание того». Говоря более философски им жаргоном, знать что-то означает иметь истинное убеждение об этом, что имеет основания для такого убеждения⁴. Эпистемологи, то есть философы специализирующиеся на теории познания, выделяют три основных условия познания. Следуя общепринятой литературе, уместна следующая схема: субъект S знает предложение p тогда и только тогда, когда:

- (i) истинно,
- (ii) S полагает, что p ,
- (iii) S имеет основания полагать, что p

Приведенные выше схемы известны как «Обоснованная истинная вера» или сокращенно JTB. $\rightarrow$, где первая посылка означает истину, вторая — веру, а третья — оправдание. Эпистемологи считают, что это минимальные условия, при которых субъект может претендовать на знание.

Давайте теперь реконструируем JTB в контексте компьютерного моделирования. Назовем общим утверждением «результатом компьютерного моделирования верным (или приближенно верным) для целевой системы», а S — исследователями, использующими компьютерное моделирование. Отсюда следует, что S знает p , если:

- (i) верно, что результат компьютерного моделирования верным (или приближенно верным) для целевой системы (ii)
- исследователь полагает, что верно то, что результат верным (или приближенно верным) для целевой системы (iii)
- у исследователя есть основания полагать, что результат является правильным (или приближенно правильным) для целевой системы

Условие (i), условие истинности, в значительной степени бесспорно. Большинство эпистемологов согласны с тем, что нельзя узнать, что является ложным, и следовательно, спорить вокруг этого условия практически не приходится. Например, неверно полагать, что Хорхе Л. Борхес написал *Principia Mathematica* или что он родился в Германии. Это пример того, на что никто не может претендовать — или не может претендовать — как на знание. Точно так же ни один исследователь не будет претендовать на знание результатов компьютерного моделирования, которое зависит от основных арифметических операций, таких как $a+b = (b+a)+1$.

Условие (ii), условие веры является более спорным, чем условие истинности, но по-прежнему в основном принимается эпистемологами. По сути, он утверждает, что для того, чтобы знать p , S должен верить в p . Хотя это утверждение кажется очевидным, оно получило несколько возмущений со стороны философов, которые считают, что знание без веры также возможно (Ichikawa and Steup 2012). Рассмотрим, например, викторину, в которой учащегося просят ответить на несколько вопросов, касающихся аргентинской литературы. Один

⁴ Есть много хороших философских работ о познании. К специальной литературе относятся Steup and Sosa, 2005; Haddock, Millar, and Pritchard, 2009; Pritchard, 2013).

таким вопросом: «Где родился Хорхе Л. Борхес?». Ученик не доверяет ее ответу, потому что считает его простым предположением. Тем не менее, ей удается хорошо ответить на многие вопросы в том числе сказать «Буэнос-Айрес, Аргентина». Обладает ли этот студент знаниями об аргентинской литературе? Согласно JTB, да. Это пример, приведенный Кэлином Рэдфордом (Radford 1966), и он считается прекрасной философской аргументацией против JTB.

Теперь нас здесь не интересуют условия веры представленные сторонниками JTB, ни критика в их адрес. Это происходит не только из-за присущей предмету сложности, которая увела бы нас слишком далеко от нашего основного курса, но главным образом потому, что есть веские основания полагать, что маловероятно, что исследователи сойдут с рук простые догадки о результатах исследований. Компьютерные симуляции. Во-первых, было бы совершенно удивительно, если бы кто-то мог угадать результаты компьютерного моделирования — на самом деле, в разделе 4.3.2 я возвращаюсь против такой возможности. Во-вторых, существуют надежные методы оторвать уменьшенную возможность и потребность в любой эпистемической удаче от носителя правилности результатов. Затем я полагаю, что условие убеждения на самом деле нас не касается, и перехожу к реальной проблеме компьютерного моделирования, то есть к условию (iii), условию обоснования.

Важность условия (iii) заключается в том, что убеждение должно быть правильно сформировано, чтобы быть знанием. Убеждение может быть истинным, но все же быть просто удачным предположением или, что еще хуже, наведенным. Если подбрасываю монету и без особых причин верю, что она выпадет решкой, и если по чистой случайности монета действительно выпадает решкой, то нет никаких оснований — кроме случая — сказать, что мое убеждение было верным. Никто не может претендовать на знание на основе простой случайности. Рассмотрим теперь случай с адвокатом, который использует софистику, чтобы побудить присяжных к определенному мнению под судом. Присяжные могут принять это убеждение за истинное, но если оно недостаточно обосновано, оно не является знанием, следовательно, не имеет оснований для суждения о человеке (Ichikawa and Steup 2012).

Как мы могли бы выполнить обоснование в компьютерном моделировании? В специальной литературе нам на помощь приходят несколько теорий оправдания. Здесь меня особенно интересует так называемая релейабилистская теория обоснования. Релейабилизм, в его простейшей форме, исходит из того, что убеждение оправдано в том случае, если оно произведено надежным процессом, то есть процессом, который имеет тенденцию производить больше полезных истинных убеждений по сравнению с ложными. Один из способов интерпретировать это в контексте компьютерного моделирования состоит в том, чтобы сказать, что у исследователей есть основания полагать, что результаты их моделирования правильны или достоверны от ношения к целевой системе, потому что существует надежный процесс (т. е. компьютерное моделирование) это в большинстве случаев дает точные и точные результаты, а не неточные и неточные. Теперь задача состоит в том, чтобы сказать, как компьютерное моделирование можно считать надежным процессом.

Элвин Голдман — самый выдающийся сторонник релейабилизма. Он объясняет это следующим образом: «надежность состоит в тенденции процеса производить убеждения, которые являются скорее истинными, чем ложными» (Goldman 1979, 9-10. Курсив в оригинале). Его

⁵ Строго говоря, следует читать: «результаты моделирования верны», и следовательно, у исследователей есть основания полагать, что истинно. Чтобы упростить дело, я просто скажу, что у исследователей есть основания полагать, что результаты моделирования верны. Это последнее предложение, разумеется, принимается за истину.

предложение под чертит место, которое процесс формирования убеждений занимает в шагах к знанию. Рассмотрим, например, знания, полученные в процессе рассуждений, так их как выполнение основных арифметических операций. Процесс рассуждений в нормальных условиях и при ограниченном наборе операций весьма надежны. Нет ничего случайного в истинности и верности, что $2 + 2 = 4$, или в то, что дерево перед моими глазами было там вчера и, если не произойдет ничего экстраординарного, завтра будет на том же месте. Релятивистское убеждение, порожденное процессом рассуждения, в большинстве случаев квалифицируется как пример знания.

Теперь вопрос сводится к тому, что значит для процесса быть надежным, и более конкретно для наших интроспекций, что это означает для анализа компьютерных симуляций.

Проиллюстрируем первый ответ примером от Goldman:

Если хорошая чашка эспрессо производит надежная эспрессо-машина, и эта машина работает в вашем распоряжении, то вероятность того, что следующая чашка эспрессо будет хорошей, больше, чем вероятность того, что следующая чашка эспрессо будет хорошей, учитывая, что каждая первая хорошая чашка была изготовлена на ненадежной машине. Если надежная кофемашина приготовит вам хороший эспрессо сегодня и останется в вашем распоряжении, она, как правило, сможет приготовить хороший эспрессо и завтра. Надежное производство одной хорошей чашки эспрессо может найти себя или не находится в единственной причинно-следственной связи с любой последующей хорошей чашкой эспрессо. Но надежное приготовление хорошей чашки эспрессо повышает или увеличивает вероятность того, что в последующем будет приготовлена хорошая чашка эспрессо. Это повышение вероятности является ценным свойством. (28. К урив мой)

Вероятность здесь интерпретируется объективно, то есть как тенденция процесса производить убеждения, которые являются скорее истинными, чем ложными. Основная идея заключается в том, что если данный процесс надежен в одной ситуации, то весьма вероятно, что при прочих равных условиях тот же процесс будет надежным в аналогичной ситуации. Следует отметить, что Goldman очень острожен в требовании безошибочности или абсолютной уверенности и достоверности счета. Скорее, долгосрочная оценка вероятности или склонности дает представление о надежном производстве кофе, которое увеличивает вероятность того, что в последующем будет выпита хорошая чашка эспрессо.

Заимствуя эти идеи, мы теперь можем сказать, что имеем право полагать, что компьютерное моделирование является надежным процессом, если выполняются следующие два условия:

(а) имитационная модель является хорошим представлением эмпирической целевой системы⁶ и (б) процесс расчета не вносит соотвествующих искажений, просчитов или как оного-либо математического артефакта.

По крайней мере, оба условия должны быть соблюдены, чтобы иметь надежное компьютерное моделирование, то есть моделирование, результаты которого в большинстве случаев являются правильными представлениями эмпирических явлений. Позвольте мне проиллюстрировать, что произойдет, если одно из условий выше не будет выполнено. Предположим сначала, что условие (а) не выполняется, как в случае использования модели Птолемея для представления движения планет. В таком случае,

⁶ Заметим, что эти примеры называются, что надежный процесс может быть чисто когнитивным, как в процессе рассуждения; или внешним по отношению к нашему уму, как показывает пример дерева за моими окнами.

⁷ Как упоминалось в первой сноске, нам этого не нужно представление. Компьютерное моделирование может быть надежным в тех случаях, когда оно не представляет, например, когда реализованная модель хорошо обоснована и правильно реализована. Я не буду обсуждать такие случаи.

хотя симуляция может дать правильные результаты они не отражают реальных планетарной системы, следовательно, результаты могут рассматриваться как знание планетарного движения. Аналогично обстоит дело, если условие (b) не выполняется. Это означает что на этих расчётах был какой-то артефакт, ведущий моделирование для отображения неверных результатов. В этом случае результаты моделирования ожидают, что они не смогут представить планетарное движение. Причина в том, что просчёты направляющих и преуменьшают степень точности результатов.

В разделе 2.2.1 я довольно подробно описал три уровня компьютерного программного обеспечения; а именно, спецификация, алгоритм и компьютерный процесс. Я также утверждал, что все три уровня используют методы построения, языка и формальные методы оторваны от отношения между ними заслуживающими доверия: существуют хорошо зарекомендовавшие себя методы построения, основанные на общих языках и формальных методах связывающие спецификацию и алгоритм и позволяющие реализовать последний на цифровой вычислительной машине. Именно совокупность этих отношений делает компьютерное моделирование надёжным процессом. Другими словами, эти три уровня программного обеспечения тесно связаны двумя взаимосвязанными условиями: спецификация и алгоритм удовлетворяют условию (a), тогда как бегущий компьютерный процесс удовлетворяет условию (b). Из этого следует, что компьютерное моделирование является надёжным процессом, поскольку его составляющие (т.е. спецификация, алгоритм и компьютерный процесс), а также процесс построения и запуска моделирования основаны индивидуально и совместно, на надёжных методах. Наконец, от установления надёжности из компьютерной симуляции следует, что у нас есть основания полагать (т.е. мы знаем) что результаты моделирования правильно представляют целевую систему.

Теперь мы можем ассимилировать реализм Голдмана в нашем вопросе о знании. В компьютерном моделировании исследователей есть основания полагать, что результаты компьютерного моделирования верны для целевой системы потому что существует надёжный процесс — компьютерное моделирование — вероятность того, что следующий набор результатов правильно больше, чем вероятность того, что следующий набор результатов будет правильным при данном что первые результаты были просто удачно полученными надёжным процессом. В других словах, результаты должны следовать доверять, потому что компьютерное моделирование является надёжным процессом, который в большинстве случаев даёт правильные (или близкие к правильным) результаты. Теперь проблема заключается в том, что объяснить, как сделать компьютерное моделирование надёжным процессом. Давайте теперь остановимся на этом и вернёмся к этому вопросу в разделе 4.2, где я обсуждаю некоторые оторванные условия достоверности компьютерного моделирования. Теперь пришло время обсудить понимание.

В начале этой главы я упомянул, что знание того, что $2 + 2 = 4$ — это надёжная операция, которая приводит к 4, не требует понимания арифметики. Понимание, в отличие от знания, кажется, включает в себя нечто более глубокое и, возможно, даже более ценным является понимание того, что что-то имеет место.

Почему важен анализ понимания? Короткий ответ заключается в том, что научное понимание — это, по существу, эпистемическое понятие, которое включает в себя такие научные действия, как объяснение, предсказание и визуализация окружающего нас мира. Есть, однако, все согласны с тем, что понятие понимания трудно определить. Мы скажем, что мы «понимаем», почему Земля вращается вокруг Солнца, или что скорость

автомобиля можно измерить, выислив положение тела во времени.

Но найти условия, при которых мы что-то понимаем, на удивление труднее, чем познать.

Первая характеристика берет понимание как процесс заполнения связанного корпуса научных верных убеждений (или близких к истинным убеждениям) о реальном мире. Такие убеждения верны (или близки к истине) в том смысле, что наши модели, теории и утверждения о мире дают основания полагать, что реальный мир вряд ли существенно отличается (Kitcher 1989, 453).

Естественно, не все научные убеждения строго верны. Иногда у нас даже нет полного понимания того, как работают наши научные теории и модели, не говоря уже о полном понимании того, почему мир такой, какой он есть. По этим причинам понятие понимания также должно допускать некоторую ложь. Философ Кэтрин Элгин придумала подходящий термин для этих случаев; она называет их «удачной ложью», что бы продемонстрировать положительную сторону теории, которая не является строго истинной. Такая удачная ложь является идеализацией и абстракцией, на которую претендуют теории и модели. Например, ученым очень хорошо известно, что ни один настаивающий газ не ведет себя так, как его описывает кинетическая теория газов. Однако закон идеального газа объясняет поведение газов, предсказывая их движение и объясняя свойства и отклонения. Такого газа не существует, но ученые стремятся понять поведение реальных газов, ссылаясь на закон идеального газа (т.е. ссылаясь на связный свод научных убеждений) (Кэтрин Элгин, 2007, стр. 39).

Теперь, хотя любой научный корпус верований пронизан удачными ложными колпачками, это не означает, что совокупность нашего корпуса верований ложна. Согласованная совокупность преимущественно ложных и необоснованных верований, таких как алхимия или реактивный, все еще не составляет понимания химии или происхождения существ, конечно же, не составляет связанного корпуса научных верований. В этом смысле первое требование к пониманию мира состоит в том, что быташк корпус был в основном населен истинными (или близкими к истине) убеждениями.

С этой точки зрения крайне важно учитывать механизмы помощи оторых новые убеждения включаются в общий корпус истинных убеждений, то есть то, как он заполняется. Герхард Шурц и Карел Ламберт утверждают, что «чтобы понять феномен Р, нужно знать, как Р вписывается в фоновое знание» (Шурц и Ламберт, 1994, 66). Элгин утверждает эти идеи, когда говорит, что «понимание — это, прежде всего, когнитивное отношение к довольно но всеобъемлющему, связанному объему информации».

(Кэтрин Элгин 2007, 35).

Есть несколько операций, которые позволяют ученым наполнять наш научный корпус убеждений. Например, математический или логический вывод из набора аксиом включает новые обоснованные убеждения в корпус арифметик и логики, делая их более связными и интегрированными. Существует также прагматическое измерение, которое предполагает, что мы включаем новые убеждения, когда способны использовать наш научный корпус убеждений для какой-то специфической эпистемологической деятельности, такой как рассуждение, работа с гипотезами и тому подобное. Элджин, например, обращает внимание на тот факт, что понимание геометрии подразумевает, что человек должен быть в состоянии геометрически рассуждать о новых проблемах, применять геометрическое понимание в различных областях, оценивать предельные геометрические рассуждения для поставленной задачи и т.д. (К. Элгин 2009, 324).

Здесь мне интересно наметить четыре критических способа включения новых убеждений в корпус научных знаний. Это, посредством объяснения, с помощью предсказания, с помощью исследования модели и с помощью вивизуализации. С этой целью показываю как каждая из этих эпистемологических функций работает как процесс создания когерентности, способный включить новые убеждения в нашу научную корпус убеждений. В некоторых случаях процесс популяризации довольно прост. Философы работающие над научным объяснением, например, в основном призвали, что цель объяснения как раз состоит в том, чтобы обеспечить понимание того, что есть. объясняются. Философ Джейвон Ким говорит, что «идея объяснения что-то неотделимо от идеи сделать его более понятным; искать объяснение чего-либо состоит в стремлении понять это, сделать понятным» (Ким 1994, 54). Стивен Гримм, другой философ объяснения, делает то же самое. подчеркивает меньшим количеством слов: «понимание есть цель объяснения» (Гримм 2010). Таким образом, объяснение является важной движущей силой научного понимания. Мы можем понять больше о мире, потому что мы можем объяснить, почему он работает так, как он делает, и таким образом заполняет научный корпус верований. Успешный аккаунт объяснение компьютерных симуляций, таким образом, должно показывать, как передать понимание пути имитации чистоты мира. Аналогичный аргумент используется для других эпистемических функций компьютерных симуляций. Впрочем, это тема для следующего глава.

4.2 Укрепление доверия

Выше я заявил, что задача утверждения, что результаты компьютерного моделирования заслуживают доверия, состоит в том, чтобы показать, что они получили помощь надежного процесса, а именно компьютерного моделирования. Таким образом, вопрос, который волнует нас сейчас, состоит в том, как ими средстве исследователи могли бы повысить надежность компьютерных симуляций? За прошедшие годы исследователи разработали различные методы облегчающие такие цели. В следующих разделах я посвящаю несколько времени обсуждению этих методов. и как они влияют на доверие исследователя к результатам компьютерного моделирования.

4.2.1 Точность, прецизионность и калибровка

Сначала упомянем ритерины, которые являются центральными для оценки надежности компьютерного моделирования. Это точность, прецизионность и калибровка. Современный исследования породили две основные группы исследований. С одной стороны есть математическая теория измерения, основной задачей которой является математическое представление величин, стандартизация, единицы системы метрического определения соотношений и величин. С другой стороны есть философские теории. связанные с методологическими, эпистемологическими и метафизическими предположениями измерения. Здесь нас, конечно, интересует последняя.

В естественных науках исследователи проводят измерения ряда интересующих величин, которые могут быть более или менее точными для этой величины. Что это означает? Традиционные описания теории измерений предполагают, что точность отнесена к набору измерений, которые обеспечивают окончательное значение, близкое к истинному значению измеряемой величины. В этом отношении точность отнесена к тому, правильно ли было определено количество путём сравнения. Например, измерение скорости света $c = (3,0 \pm 0,1) \times 10^8$ м/с является точным, поскольку оно близко к истинному значению скорости света в вакууме, а именно 299 792 458 м/с.

Такая концептуализация кажется правильной, за исключением того, что она предполагает знание истинного значения скорости света. Другими словами, исследователи имеют доступ к действительному, фиксированному значению количества в природе и что с помощью которых мы получаем доступ к тому значению, предоставленному (т.е. беспристрастному). К сожалению, это не реалистичная картина стандартных измерений в науке и технике. Скорее, более привычно видеть, как исследователи из всех сил пытаются обеспечить ценность с помощью методов измерения и инструментов, которые неизбежно вносят некоторую предвзятость. По этим причинам исследователи считают, что в лучшем случае они могут измерить только приближённые значения величины. Например, измерение скорости света, исследователи идеализируют среду, в которой распространяется свет, в данном случае вакуум. Должны иметь место и другие идеализации, такие как температура и давление, а также стабильность единиц измерения. Устранение этих идеализаций означало бы более сложный сценарий, при котором исследователи, скорее всего, никогда не узнают истинное значение скорости света (Теллер, 2013).

Именно из-за подобных философских аргументов наш мир становится менее определённым. Конечно, тот факт, что во многих случаях исследователи не могут измерить истинное значение количества, не означает, что для всех научных и инженерных дисциплин измерение истинного значения количества невозможно. Например, в тригонометрии теоретически можно узнать истинное значение каждого угла прямоугольника. Однако для многих научных и инженерных дисциплин действительно трудно, если вообще возможно, говорить об измерении истинного значения (эмпирических) величин. Даже в тех случаях, когда измерение значения достигается теоретически средними, есть основания полагать, что существует набор допущений, которые налагают ограничения на измерение. Возьмём пример измерения секунды «С 1967 года, — говорит Эран Таль, — секунда определяется как продолжительность ровно 9 192 631 770 периодов излучения, соответствующих сверхтонкому переходу цезия-133 в основное состояние» (BIPM 2006).

Это определение отнесено к невозмущённому атому цезия при температуре абсолютного нуля. Будучи идеализированным описанием своего рода атомной системы, ни один реальный атом цезия никогда не удовлетворяет этому определению (Tal 2011, 1086). Урок, который нужно усвоить, заключается в том, что измерить истинное количество, особенно в природе, невозможно, и это влияет на определение точности путём сравнения.

Другой способ анализа точности состоит в том, что обычно внимательно изучить научную инженерную практику, особенно проектирование и использование приборов исследователями. Например, если конструкция и способ применения термометра обеспечивают приписывание температуры объекту в узком диапазоне, то можно сказать, что такой термометр точен. Понимаемое таким образом точное измерение предполагает полный доступ к устройству прибора, за которым, управляющим им, — в этом

случай, термодинамика - внешние условия, которые могут повлиять на прибор (например, рука, которая нагревает термометр), и использование прибора.

Третий способ состоит в принятии того, что измерение является точным по отношению к данному эталону измерения. Случай измерения скорости и света — один из примеров. Если стандартом установлено, что скорость света равна $299\,792\,458$ м/с, то измерение $c = (3,0 \pm 0,1) \times 10^8$ м/с является точным, поскольку оно близко к стандартному значению. Большое преимущество зависимости от точности стандартов измерения заключается в том, что исследователям не нужно предполагать фиксированное значение в природе, а скорее фиксированное значение во времени. Это, в свою очередь, означает, что разные периоды в истории науки и техники будут рождать новые — и модифицировать существующие — эталоны измерений. Убедительный пример снова дает скорость света. В 1907 г. значение c составляло $299\,710 \pm 22$ км/с, а к 1950 г. установлено $299\,792,5 \pm 3,0$ км/с. Каждое из этих измерений, а также многие последующие, зависят от различных методов и инструментов, которые обычно адаптированы к определенному моменту времени. С этой точки зрения абсолютно необходимо объединить методы инструментов с социотехнологическими рамками времени в концептуализации понятия точности.

Тем не менее, четвертый альтернативный способ понять точность — это многочисленные сравнения с другими научными и инженерными инструментами. Таким образом, если результат одного прибора согласуется с одним и тем же значением с другими приборами, предпочтительнее другого типа (например, ртутным термометром, инфракрасным термометром, цифровым термометром), то говорят, что он точен (Tal 2011, 1087).

То, что считается точными результатами, зависит от методов измерения, стандартов, инструментов и, конечно же, от научного и инженерного сообщества. В этом отношении исследователи могут считать результаты компьютерного моделирования точными, если они близки к согласию со значением величины, полученным путем сравнения с другими значениями в достаточной области; по эталону измерения, такому как скорость света или абсолютный ноль; или путем сравнения результатов с другими научными инструментами, включая, во многих случаях, другие компьютерные модели. Хороший пример этого последнего случая представлен Марко Айелли и его командой (Аджелли и др., 2010), которые параллельно сравнивают результаты двух разных симуляций: модели, основанной на стохастическом агенте, и стохастической модели структурной метапопуляции. По мнению авторов, «полученные результаты хорошо согласуются на уровнях детализации, достаточных для обоих подходов» (1).

Точность частично связана с точностью, хотя и щателный анализ подразумевает, что они должны быть дифференцированы. Анализ поправочных коэффициентов и модельных предположений определяет точность измерения, тогда как именно уровень сложности научного инструмента определяет точность измерения.

Классический пример, который помогает разделить эти два вида ступеньки — это ступеньки из лука по мишеням. Точность лучника определяется тем, насколько близко стрелы собираются вокруг мишени. С другой стороны, точность лучника соответствует тому, насколько близко (или широко) разбросаны стрелы. Четвертый шаг — это точность

лучше. Теперь, если расхождение от мишеней считается слишком большим, то лучше
следует сказать, что имеет небольшую точность.

Различие между точностью и кучностью очень важно. Точный
измерение дает оценку, близкую к истинному значению измеряемой величины. Чтобы сделать
точным, исследователям необходимо широко полагаться на
на информационных моделях и математическом аппарате. С другой стороны, при точном измерении
неопределенность оценочного значения
разумно небольшой. Чтобы сделать измерение точным, исследователи полагаются на
изощренность своих инструментов. Как только позже, в компьютерном моделировании точность
также зависит от информационных моделей исследователя и математических расчетов.
техника.

В теории измерений под прецизионностью понимается множество повторных измерений при неизменных
условиях, для которых неопределенность оцениваемых результатов от носителя не мала. Для повышения
точности существует ряд стандартных методов.
Которые помогают в получении более точных результатов, так как стандартная ошибка и
стандартное отклонение. Хороший пример снова дает измерение скорости
света; набор измерений скорости света с, стандартное отклонение от орбитально
около $\pm 0,0000807347498766737$ является менее точным, чем значение, стандартное отклонение
от которого составляет около $\pm 0,0000008073474987667$, так как неопределенность оценочных результатов
меньше. Понимаемая таким образом изощренность научного инструмента (например,
лазер для измерения скорости света) определяет точность измерения
с, тогда как точность измерения зависит от анализа поправок и
факторы модели допущения и т.д.

В компьютерном моделировании точность является важным элементом, о котором нужно заботиться.
В типичных обстоятельствах исследователи предполагают, на мой взгляд, справедливо, что компьютер как
физическая машина является достаточной точным инструментом. То есть результаты
полученные в результате вычислений, распределяются в допустимом диапазоне (например, в
нормальное распределение). Поскольку исследования точности также сосредоточены на источниках инструментальных
неточностей, так же как неопределимые изменения в оборудовании, неисправности и
общий сбой, важно указать те же источники, которые влияют на компьютер
симуляции. Таким образом, можно установить гомологию компьютерному моделированию.
такими факторами, как контроль перегрева компьютеров, ошибки и убой в вводе-выводе и
исключения памяти, среди прочего.

Помимо аппаратного уровня, компьютерное моделирование включает в себя программный уровень, который
также может внести неточности в вычисления. Как правило, ограниченное количество
биты используются для хранения числа, приводят к известному — и неизвестному — усечению округлению
выл ошибки. Простой пример состоит в сохранении «sin(0.1)» в одинарной точности IEEE.
стандарт с плавающей запятой.⁸ Если последующие вычисления используют это число,
ошибка имеет тенденцию увеличению риска точности вычислений. Для того, чтобы
измерения sin(0.1) более точно исследователи обычно улучшают свою аппаратную базу — например, с 64-
битной архитектурой 128-битную Контно, это

означает только то, что округление, как правило, меньше или означает меньшее влияние
в окончательных результатах, но не обязательно исключается. Это причина, по которой в

⁸ Пример также работает для демонстрации неточностей, вносимых вычислениями «sin(0.1)» в IEEE.
с плавающей запятой одинарной точности.

Высок опроводит ель ные выисления, аппаратное обеспечение играет такую важную роль. К сожалению, изменения в аппаратных средствах могут быть довольно дорогими, поэтому точность также должна обеспечиваться с помощью численного анализа и хорошего программирования.

Наконец, к алибровка, так же известная как «настройка», относится к множеству методов, которые позволяют вносить небольшие коррективы в параметры модели, чтобы желаемая степень точности и прецизионность соответствовала определенному стандарту достоверности. К алибровка обьно —хотя и не всегда —происходит, когда модель включает параметры в отношении которых существует большая неопределенность, и, таким образом, значение параметра определяет пути нахождения наилучшего способа сопоставления результатов с достоверными данными. Затем рассматриваемый параметр считается свободным параметром, который можно «настраивать» по мере необходимости. Таким образом, к алибровка представляет собой деятельность по поиску и коррективке значений свободного параметра, которые лучше всего подходят для учета имеющихся данных.

В югерном моделировании Марк Кеннеди и Энн О'Хэган выделяют две формы алибровки. Во-первых, «к алибровочные входные данные», которые представляют собой входные данные, принимающие фиксированные, но неизвестные значения для всех измерений и наблюдений, используемых для к алибровки. Понимаемые таким образом входные данные к алибровке —это те входные данные, которые могут иметь узкую вариацию в проценте к алибровки и моделирования. Во-вторых, «переменные входные данные», которые состоят из всех других входных данных, значение которых может измениться во время выполнения югерного моделирования. Обьно они описывают геометрию, а также начальные и граничные условия, связанные с конкретными аспектами целевой системы⁹. Для обеих форм к алибровки достоверно множество методов, включающих оптимизацию параметров с помощью нелинейной регрессии, байесовские методы и анализ чувствительности для оценки информативности данных и выявления существующих измерений, определяющих разработку модели.

Хотя к алибровка является стандартной практикой югерного моделирования, она имеет существенные недостатки. Основная проблема к алибровки заключается в том, что она может привести к «двойному учету» данных. То есть данные, используемые для к алибровки к югерному моделированию, так же могут быть использованы для оценки точности результатов югерного моделирования. Эта озабоченность, особенно присутствующая в сообществе климатического моделирования, поднимает вопросы о целостности и самоуверенности позиций:

некоторые комментаторы считают, что в некоторых аргументах, представленных GCM [разработчиками моделей общего обращения], есть ненаучная замкнутость; например утверждение о том, что МОЦ могут дать хорошую симуляцию противоречит факту, что важные аспекты симуляции опираются на [...] тунинг. (Шклин и др. 1998, 170)

Еще одна проблема с к алибровкой —связанные с ней «отсутствующие неопределенности». Как мы уже говорили, к алибровка состоит в поиске набора значений неизвестных входных данных, чтобы достаточные данные максимально точно соответствовали выходным данным модели. Эти значения служат не только для целей, и все они являются оценочными значениями этих параметров. «Оценочный» характер этих исходных данных влечет за собой отсутствующую неопределенность этих исходных данных. Другими словами, к алибровка не устраняет неопределенность, а просто уменьшает ее. Этот факт необходимо признать в последующем анализе

⁹ Дополнить эту информацию по этому вопросу см. в (McFarland and Mahadevan 2008), (Kennedy and O'Hagan 2001) и (Trucano et al. 2006).

модели.

Вшеупомнутые попытки охарактеризовать точность, прецизионность и калибровку произрастают из соображений надежности компьютерного моделирования и последующего доверия исследователей к их результатам. Если компьютерное моделирование — это надежный процесс, дающий правильные результаты, то нам нужен способ охарактеризовать, как им будет «правильный» результат. Таким образом, причина нашего недавнего обсуждения. Как принято в этой книге, мы представляем и обсуждаем, хотя и кратко, философские проблемы, связанные с окончательными идеями. Следующим шагом является обоснование того, что компьютерное моделирование является надежным процессом. С этой целью предлагается краткое обсуждение литературы по верификации и валидации как двум наиболее важным методам обеспечения надежности.

4.2.2 Верификация и валидация

Верификация и валидация¹⁰ — это общие названия множества методов, используемых для повышения надежности научных моделей и компьютерного программного обеспечения. Понимание их роли, таким образом, оканчивается необходимыми для оценки, достоверности и способности извлекать результаты компьютеров. Сейчас, когда интерес к компьютерному моделированию методически верификации и валидации подстравляется под конкретные задачи. Далее мы сначала рассмотрим общие принципы методов верификации и проверки, а позже расскажем, в каком отношении они повышают надежность компьютерных симуляций.

Чтобы убедиться в надежности компьютерного моделирования, а также подтвердить правильность результатов, исследователи имеют в своем распоряжении формальные процедуры (например, для подтверждения правильной реализации спецификации или компьютере) и эталонные тесты (т.е. точные эталонные значения), с которыми можно сравнить результаты вычислений (например, с другими источниками данных). При верификации формальные методы лежат в основе надежности компьютерного программного обеспечения, тогда как при валидации бенчмаркинг отвечает за подтверждение результатов (Оберкэмпа и Рой, 2010, предисловие). Другими словами, в методах верификации интерес представляют отношения между спецификацией, включаемой моделью, и компьютерным программным обеспечением, тогда как в методах валидации интерес представляют отношения между вычислениями и эмпирическим миром (например, экспериментальные данные, полученные путем измерения). Методы наблюдения (Оберкэмпа, Трунано и Хирш, 2003 г.)¹¹.

Вот два определения, которые широко приняты и используются сообществом исследователей:

Верификация: процесс определения того, что вычислительная модель точно представляет лежащую в основе математическую модель и ее решение.

10

11 Также известен как «внутренняя валидность» и «внешняя валидность» соответственно.

Чтобы быть более конкретным с общим предложением Оберкэмпа, Трунано, Роя и Хирша, я должен также упомянуть анализ неопределенности и то, как она распространяется на протяжении всего процесса проектирования, программирования и запуска компьютерного моделирования. Более философский подход к верификации и валидации, а также конкретные примеры см. в (Oreskes, Shrader-Frechette, and Belitz, 1994; Kuppers and Lenhard, 2005; Hasse and Lenhard, 2017).

Валидация: процесс определения степени, в которой модель является точным представлением реального мира с точки зрения предполагаемого использования модели. (Оберкэмпф, Трукано и Хирш 2003 г.)

Теперь этот способ изображения верификации и валидации широко принят и используется, особенно во многих философских трактовках компьютерного моделирования. Эрик Уинсберг, например, считает, что «проверка [...] — это процесс определения того, приближается ли результат моделирования к истинным решениям задачи».

Дифференциальные уравнения исходной модели. Валидация, с другой стороны, является процессом определения того, является ли выбранная модель хорошим представлением системы реального мира для целей моделирования» (Winsberg 2010, 19-20).

Другим примером философа, обсуждающего верификацию и валидацию компьютерных симуляций, является Маргарет Моррисон. Хотя она принимает более широкое определение методы проверки и проверки, и даже думает, что эти два метода не всегда четко делимы тем не менее она преуменьшает необходимость методов проверки, утверждая, что проверка более важна для метода оценки и надежности.

компьютерного моделирования (Моррисон 2009, 43).

С другой стороны научные и инженерные сообщества имеют более широкое и более разнообразный набор определений, адаптированных к специфике систем находят ся в статьях из учения¹². Обсудим теперь их подробности и укажем, что про компьютерное моделирование.

4.2.2.1 Проверка

Верификация при компьютерном моделировании заключается в том, что убедиться, что спецификация для данной симуляции правильно реализована как имитационная модель. В литературе описано несколько методов проверки, подходящих для компьютерного программного обеспечения в целом. Но есть два метода, особенно важные для компьютерного моделирования, а именно: проверка кода и проверка расчётов¹³. Их значение заключается в том, что оба метода сосредоточены на правильности и дискретизации, ключевых элементов для реализации математических моделей в виде компьютерных симуляций.

Верификация кода определяется как процесс определения того, что численные алгоритмы правильно реализованы в компьютерном коде, а также потенциальные ошибки в программном обеспечении (Oberkamp, Trucano, and Hirsch 2003, 32). В этом случае, проверка кода обеспечивает основу для разработки и поддержки надежного кода компьютерного моделирования.

Уильям Оберкэмпф и Тимоти Трукано утверждают, что полезно продолжать разделить проверку кода на два вида деятельности, а именно проверку числового алгоритма и разработку адекватного программного обеспечения. Целью верификации численного алгоритма является проверка математической корректности реализации всех

¹² См. (Oberkamp and Roy 2010, 21–29) анализ разнообразия концепций. Также см. (Салари и Камбиз, 2003; Сарджент, 2007; Нейлор и др., 1967; Нейлор, Уоллес и Сассер, 1967).

¹³ Также упоминается как проверка решения в (Oberkamp and Roy 2010, 26) и как численное оценивание ошибок в (Oberkamp, Trucano, and Hirsch 2003, 26).

численные алгоритмы влияющие на численность результатов моделирования. Цель этого метода проверки состоит в том, чтобы продемонстрировать, что численные алгоритмы реализованные в составе имитационной модели, корректно реализованы и функционировать по назначению (William L. Oberkampf and Timothy G. Trucano 2002, 720).

Вместо этого разработчик адекватности программного обеспечения делает упор на определение того, имитационная модель дает правильные результаты-или приблизительно но правильные. Целью разработчик адекватности программного обеспечения является проверка модели моделирования и результатов моделирования на соответствие требованиям оборудования в определенной программной среде, включая компиляторы библиотек и, ввод-вывод и т.д. Эти процедуры проверки в основном используются во время разработки, тестирования и обслуживания моделирования модель (721).

С другой стороны проверка расчетов определяется как метод, предотвращающий тривиальные ошибки: человеческая ошибка при подготовке кода, человеческая ошибка при анализе результатов и численные ошибки, возникающие при вычислении дискретизованного решения имитационной модели. Определение для проверки и расчетов следующее:

Проверка расчетов: процесс определения правильности входных данных, численная точность полученного решения и корректность выходных данных для конкретной симуляции (Oberkampf, Trucano и Хирш 2003 г., стр. 34).

Понимаемая таким образом проверка расчетов является эмпирической стороной проверки. Это основано на сравнении результатов моделирования с высокоточными решениями научной модели. В некотором смысле проверка расчетов аналогична проверке валидации, поскольку обе сравнивают оценочные результаты с правильными результатами. Число всего контрпримеров скрывает простоту ранственной и временной конвергенции, итеративную сходимость, независимость решений от координатных преобразований и т.п. Другие процессы (26).

4.2.2.2 Валидация

Процесс валидации (также известный как тестирование) состоит в демонстрации того, что результаты моделирования более или менее точно и точно соответствуют тем, которые получены из измерения и наблюдением целевой системы. Oberkampf и Trucano выделяют три ключевых аспекта валидации:

- i) количественная оценка точности вычислительной модели путем сравнения ее отведений с экспериментальными измерениями;
- ii) интерполяция или экстраполяция расчетной модели на условия, соответствующие предполагаемое использование модели;
- iii) определение того, является ли предполагаемая точность вычислительной модели для условий предполагаемого использования, удовлетворяет установленным требованиям к точности. (В.Л. Oberkampf и Т.Г. Trucano 2008, 724)

Хотя методы валидации являются естественными для многих экспериментаторов, поскольку они рассуждают, воспроизвести — а не репрезентировать или имитировать — часть мира¹⁴, они являются довольно сложным вопросом в контексте компьютерного моделирования. Вот когда возникает некоторая опасность от носителя надежности валидации.

Основная проблема связана с тем, что большинство методов проверки являются индуктивными, т. е. таким образом, следует ожидать, что они столкнутся с типичными проблемами индукции. Проблема здесь в том, что метод позволяет проверить модель только до определенного момента, и, следовательно, полная валидация абсолютно невозможна из-за большого количества сравнений необходимо — не говоря уже о невероятности наличия всех возможных результатов под рукой. Это причина, по которой валидация известна, в основном среди специалистов по информатике, как метод обнаружения наличия ошибок, но не предназначен для устоявшегося от сутствие.¹⁵

Другая проблема заключается в том, что валидация зависит от способности сравнивать результаты компьютерного моделирования с эмпирическими данными. Такое двойственное отношение, очевидно, требует наличия как результатов моделирования, так и данных, полученных из эмпирического источника. Это приводит к исключению многих компьютерных симуляций для которых нет соответствующих эмпирических данных. В этом смысле валидация является лишь подходящей конечной целью для тех случаев, когда компьютерное моделирование представляет реальную систему, а не возможную или мыслимую систему (например, симуляция, нарушающая константу природы такая как симуляция с гравитационной силой, равной $G = 1 \text{ мк г} \cdot 1 \text{ с}^2$).

Сказав это, важно отметить, что с введением компьютерного моделирования в экспериментальные контексты валидация не зависит исключительно от сопоставления результатов с эмпирическими данными. Айелли и его команда показывают, как можно запустить различные компьютерные симуляции и использовать их результаты для подтверждения надежности для каждого — в этом случае имеет место не просто сходимость результатов, но и ключевых переменных (Ajelli et al. 2010)¹⁶.

На рис. 4.1 на блок-схеме показано, как проверка (как проверка качества, так и верификация расчетов) и методы валидации внедряются в обычную научную практику. Концептуальная модель здесь является продуктом анализа и наблюдения. Интерпретирующая физическая система (то есть то, что мы называем научной моделью). Включая приложения вычислительной физики (так как вычислительная гидродинамика, вычислительная механика твердого тела, структурная динамика, физика ударных волн и вычислительная химия), в концептуальной модели доминирует набор УЧП, используемых для представляющих физических величины.

Можно выделить еще два типа моделей: математическая модель, из которой создается расчетная или имитационная модель, а также физическая модель, которая для простоты будущего может использоваться экспериментом (вспомним нашу трактовку эксперимента в разделе 3). Вычислительная модель, в нашей собственной терминологии, представляет собой операционную компьютерную программу, которая реализует имитационную модель в виде компьютерной программы моделирование.

¹⁴ В то время как это справедливо для некоторых форм экспериментов в науке, это не так для других. Например, как экономик и психология.

¹⁵ Это утверждение широко приписывается Эдгеру Дейкстре.

¹⁶ Согласно говоря, Ajelli et al. проводят анализ устойчивости (Weisberg 2013).

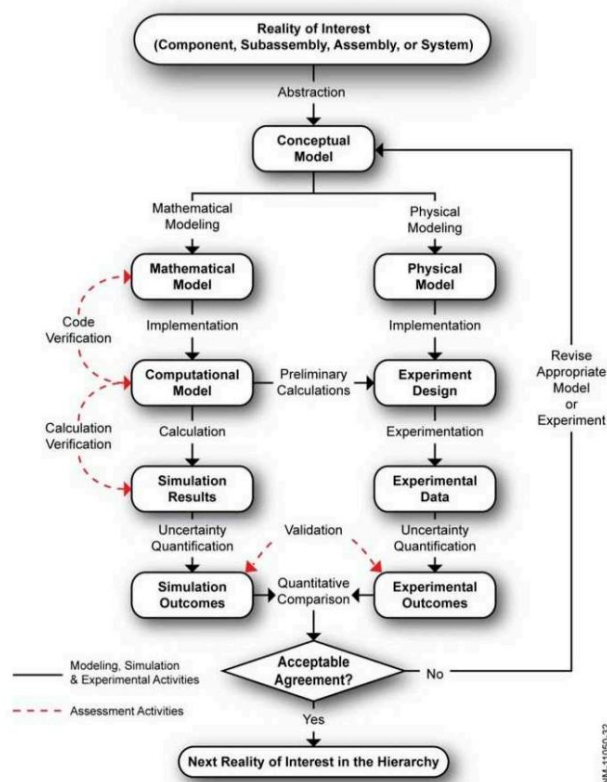


Рис. 4.1 Этапы моделирования и симуляции, а также роль верификации и валидации (ASME 2006, 5).

Заметим, что на рисунке так же видно, что верификация связана с соответствием между концептуальной моделью и математической моделью тогда как верификация расчётов связана с соответствием между результатами моделирования и расчётной моделью ожидаемые результаты вынуждают модель. Валидация, с другой стороны является количественное соответствие между решениями моделирования и экспериментальными измерениями или наблюдениями. Эта адекватность, опять же, может быть определена сравнением, которое обеспечивает приемлемое согласие между решениями двух задействованных модели.¹⁷

Проверки и валидации — это две основные опоры для утверждения надёжности и компьютерного моделирования (Duran and Formanek, 2018). Это означает, что у исследователей есть веские основания утверждать, что их компьютерное моделирование является надёжным процессом, и, таким образом, у них есть основания полагать, что результаты симуляции правильны.

¹⁷ Более подробное обсуждение рисунка 4.1 см. в (Oberkampf and Roy 2010, 30).

Этот результат важен, потому что, как мы покажем в следующей главе, надежность компьютерных симуляций поддерживает утверждение о том, что исследователи могут утверждать, что для объяснения, предсказания и других эпистемологических действий. Другими словами, надежный компьютерное моделирование также позволяет исследователям претендовать на понимание результатов.

Заключительный и очень краткий комментарий по проверке и валидации перед введением следующая тема. Хотя ни программное, ни аппаратное обеспечение не могут быть полностью проверены или проверены исследователи все еще разрабатывают методы, чтобы уменьшить количество ошибок, и повышает достоверность моделирования. Этот интеграл служит доказательством важности обоих методов для общей достоверности компьютерного моделирования.

4.3 Ошибки и непрозрачность

Использование определенных терминов, таких как доверие, определенность, точность и надежность, не должно создавать у нас ложное впечатление, что история компьютерного моделирования — это история успеха. Как мы обсудим в следующих разделах, компьютерное моделирование не обеспечивает полностью прозрачный и безопасный доступ к миру, а скорее тот, который содержит ошибки и неточности. На самом общем уровне каждая дисциплина в истории человечества имеет дело с недостатками и путаницей. В этом смысле компьютерное моделирование также является частью великой истории науки и техники. Поэтому в них нет ничего особенно нового. Однако на более локальном уровне есть несколько проблем, возникших исключительно из-за использования новых технологий. — в частности, компьютеры — и новые методы основанные на этой технологии — в частности, компьютерное моделирование.

До сих пор мои усилия были сосредоточены на рассмотрении компьютерных симуляций как источников информации для познания мира. Эта точка зрения, конечно, верна, поскольку компьютерное моделирование действительно представляет собой мощный метод получения точной информации о окружающий нас мир. На самом деле, мы посвящаем следующую главу обсуждению того, как компьютерное моделирование объясняет, предсказывает и выполняет несколько эпистемологических функций. Но, как упоминалось ранее, компьютерное моделирование также является источником непрозрачности, ошибок и неопределенности, которые могут повлиять на их надежность и подорвать доверие исследователи поставили на результаты моделирования. В связи с этим важно обсудить, хотя бы кратко, источники ошибок и неясностей, которые пронизывают практику компьютерных симуляций, а также связанных с ними философских вопросов. В равной степени важным будет обсуждение неотрешенных фундаментальных механизмов, используемых исследователями, которые помогают смягчить эти ошибки и обойти непрозрачность. Позвольте мне сказать, что мое отношение здесь будет неправомерно несправедливым, учитывая сложность этих вопросов. Я надеюсь, однако, что обнимет возможность обрисовать основные проблемы и предложить возможные решения.

4.3.1 Ошибки

Ошибки — проверенная временем проблема в научных и технологических дисциплинах. В то время как некоторые из них упоминаются, то что что-то пошло не так, некоторые другие могут на самом деле дать представление о том, что пошло не так (Deborah G Mayo, 1996). В любом случае важность изучения ошибок заключается в том, что в какой-то момент они повлияют на достоверность компьютерных симуляций, а значит, и на доверие исследователя к их результатам. По этой причине исследователям необходимо обеспечить строгие и надежные меры для обнаружения ошибок, а также способов предотвращения. Однако когда они происходят, важно знать, как с ними справиться, уменьшить негативные последствия и по возможности устранить их¹⁸. Первый подход к ошибкам делит их на произвольные ошибки, такие как результаты падения напряжения во время испытания или неосторожный лаборант, споткнувшийся о шнур питания компьютера; и систематические ошибки, то есть ошибки, присущие процессу проектирования, программирования и расчета имитационной модели.

Произвольные ошибки не имеют для нас большого значения. Вероятность их возникновения очень мала, и они не вносят никакого вклада в частоту возникновения процесса для получения правильных результатов. Во всяком случае, они молчаливые и одинокие участники, в отличие от ошибок, которые обнаруживаются, легко заставит исчезнуть. Неудивительно, что исследователи приложили мало усилий, пытаясь понять вероятность возникновения. Скорее исследователи пытаются справиться с ними, если не полностью их игнорировать. Кабели, проложенные в специальных кабельных каналах вдали от основной рабочей зоны являются мерой безопасности, которая успешно предотвращает спотыкание о них неосторожных сотрудников лаборатории. Тот же источник энергии в настоящее время очень стабилен на неосторожных объектах даже есть резервные генераторы. В случае общего отключения данные обычно реплицируются на несколько серверов таким образом, что возможно было возобновить компьютерное моделирование с момента последнего выполнения. Таким образом, произвольные ошибки не следует рассматривать как угрозу общей достоверности компьютерного моделирования.

С другой стороны систематические ошибки играют более заметную роль. Я делю их на два вида, а именно аппаратные ошибки и программные ошибки. Как следует из названия, ошибки первого типа связаны со сбоями в работе физического компьютера, в то время как ошибки второго типа возникают из-за ошибок при проектировании и программировании компьютерных симуляций, в том числе из-за ошибок в готовых пакетах¹⁹.

4.3.1.1 Аппаратные ошибки

Физические ошибки и связанные временными или постоянными неисправностями микропроцессора, компьютера, памяти, ошибки устроены в вводе-вывода и вообще любого физического компьютера.

¹⁸ Отличный анализ ошибок и их влияния на научную практику в целом см. (Deborah G. Mayo 2010; Mayo and Spanos 2010). Отом, как ошибки влияют, в частности, на информатику, см. (Jason 1989). А о роли ошибок в информатике см. (Parker 2008). Я понимаю, что ошибки негативно влияют на вычисления.

¹⁹ Обзор ошибок проектирования и производственного цикла вычислительных систем см. (Сейбель, 2009 г.; Фреско и Примьеро, 2013 г.; Флориди, Фреско и Примьеро, 2015 г.).

Компонент компьютерера, который может изменить нормальный вычислительный процесс моделирования.

Из всех воображимых источников аппаратных ошибок, пожалуй, самый экзотичный исходит из космоса: сверхновые звезды черные дыры и другие космические явления действительно могут привести к сбоям в работе компьютеров. Эти аппаратные ошибки и известные как «мягкие ошибки» и вызываются простыми астрономическими явлениями: попаданием космических лучей в атмосферу Земли. Когда космические лучи сталкиваются с молекулами воздуха, они создают «воздушный дождь» из высокоэнергетических протонов, нейтронов и других частиц, которые могут поражать внутреннюю компоненту компьютера. Если они окажутся рядом с той частью чипа, электронные за которыми они следуют, создадут цифровую 1 или 0 вместо нуля (Simonite 2008).

Такие ошибки называются «мягкими ошибками», поскольку их наличие не приводит к необратимому повреждению компьютера, но к изменению физических характеристик оборудования. Скорее, программные ошибки повреждают только один или несколько битов в программе или значениях данных, изменяя тем самым образ данных и, следовательно, вычислительный процесс, не вызывая видимых повреждений оборудования. В середине 90-х годов IBM протестировала около 1000 устройств в памяти на разных уровнях моря — в долинах, горах и пещерах — и результаты показали, что чем выше высота, тем больше мягких ошибок будет происходить, тогда как соотношение мягких ошибок на устройствах, протестированных в пещере было почти в 10 раз меньше.

Мягкие ошибки обычно влияют на систему памяти компьютера, а также на некоторые другие комбинационные логики, используемые в схемах, таких как арифметико-логические устройства. В случае схем памяти источников мягких ошибок являются энергичные частицы, которые генерируют достаточное свободное заряд, чтобы нарушить состояние ячейки памяти. В случае комбинационной логики скачки напряжения или переходный ток могут нарушить синхронизацию часов, вызывая распространяющиеся программные ошибки, которые в конечном итоге фиксируются на выходе логической цепи (Slayman 2010). Очевидным источником являются неизвестные ненадежные результаты

Ниже приведен простой пример иллюстрирующий, насколько вредны ошибки и того, что на самом деле может быть. Рассмотрим следующие две программы на языке C:

```
Алгоритм 10. Побитовый оператор if (a
& b), затем
    распечатка «Демократы победили» else

    распечатка «Республиканцы победили» конец
если
```

```
Алгоритм 11. Логический оператор
если (a && b) then
    распечатка «Победили демократы» else

    распечатка «Победили республиканцы» end if
```

В языке С операторы и `&` называются побитовыми, потому что они представляют собой операции, выполняемые на уровне битов. Простой замены 1 на 0 и наоборот. Кроме того, язык С не включает понятие булевой переменной. Вместо этого «ложь» представляется 0, а «истина» может быть представлена любым числовым значением, отличным от 0. Этот факт, обычно хорошо скрытый, позволяет программистам при определенных обстоятельствах писать: `a & b` так же, как `&& b`.

Предположим теперь, что `a = 4` (000001002) и `b = 4` (000001002). В этом случае условное выражение в обоих алгоритмах оценивается как одинаковое, и, таким образом, «Демонstrate победы или» является окончательным результатом. Это происходит потому, что логический оператор `&&` возвращает ненулевые значения (алгоритм 11), поэтому всегда выполняется первый оператор. Тогда так же побитовая операция добавляет к нулевому значению `a & b = (000001002)` в (алгоритм 10).

Теперь, если программная ошибка возникает на 3-м байте, отображающем `a = 0` (000000002), то логический оператор в алгоритме 11 все равно будет оцениваться как «Демонstrate победы или» просто потому, что это ненулевое значение, тогда как побитовый оператор будет оцениваться как «Республиканские победы или», поскольку он оценивается как нулевое значение `a & b = (000000002)` (алгоритм 10).

Пример показывает, что если правильная энергетическая астица попадет в нужное место в памяти, где хранится значение «а», то результаты могут быть совершенно другими — в данном случае, Демонstrate истинности главной жертвой. Возможно, этот пример крайне маловероятен, настолько же он и неудачен. Реальные возможности возникновения такой ошибки и резвыны малы, если непрактически невозможны. Это не только потому, что вероятность против этого, но и потому, что язык и программирование стали очень стабильными и надежными. Несмотря на эти соображения, это реальная возможность, к которой приводит елиот несутся очень серьезно. По мере того, как аппаратные компоненты уменьшаются в размерах и потребляемой мощности, а микросхемы оперативной памяти становятся более плотными, резко возрастает чувствительность к излучению, следовательно, вероятность возникновения программной ошибки (Baumann 2005).

Четыре прототипы действуют — это эффект, технологическое компания сосредотачивается на улучшении конструкции микросхем и совершенствовании технологий проверки ошибок. Фактически, компьютерный гигант Intel систематически работает над внедрением в свои чипы встраиваемого детектора космических лучей. Детектор будет обнаруживать попадание космических лучей в близлежащие цепи или непосредственно в сам детектор. При срабатывании он активирует серию чипов проверки ошибок, которые обновляют память, повторяют самые последние процедуры и запрашивают последнее сообщение, отправленное в затронутую цепь (Simonite 2008). Таким образом, Intel стремится уменьшить программные ошибки и, таким образом, повысить надежность аппаратного компонента.

Помимо программных ошибок, конечно, существуют и другие виды систематических аппаратных ошибок. Обычно они представляют собой сочетание с программным обеспечением, которое обрабатывает аппаратное обеспечение. Возможно, самая известная — или, я бы сказал, печально известная — аппаратная и программная ошибка в истории связана с ошибкой Pentium FDIV микрочипа Intel. Цель Intel состояла в том, что быстрое выполнение скалярного кода с плавающей запятой в 3 раза и векторного кода в 5 раз по сравнению с предыдущими микрочипами. Используемый алгоритм будет иметь справочную таблицу для вычисления промежуточных частей, необходимых для деления с плавающей запятой. Эта справочная таблица будет состоять из 1066 элементов,

из-за ошибок программирования не были загружены в программируемый логический массив. Когда к этому явлению обращался модуль с плавающей запятой, он получил 0 вместо ожидаемых +2, которые должны были содержаться в «отсутствующие» клетки. Эта ошибка сбивала расчеты и приводила к менее точным числам, чем правильный ответ (Halfhill 1995). Несмотря на то, что шансы на ошибку, появляющаяся случайным образом, была подсчитана примерно как 1 из 360 миллиардов, Pentium Ошибка FDIV стоила Intel Co. потеря дохода в размере около 500 миллионов долларов из-за замены неисправных процессоров.

Урок, который нужно усвоить, состоит в том, что более передовые технологии не сразу переводятся в более надежные исследования. Мягкие ошибки появляются при вступлении современной платной технологии на основе кремния. Однако на самом деле аппаратные ошибки меньше всего волнуют больше всего исследователей, занимающихся компьютерным моделированием. Это происходит главным образом потому, что, как мы уже обсуждали, спецификации, программирование, а запуск компьютерных симуляций — это практика, управляемая программным обеспечением. Исследователи полагаются на свое оборудование, и у них есть очень веские причины для этого. Более того, когда возникает вопрос о надежности компьютерных симуляций, больше всего философов, а влюблены думать о способах борьбы с программными, а не с аппаратными ошибками. На этой ноте давайте теперь перейдем к обсуждению программных ошибок.

4.3.1.2 Ошибки программного обеспечения

Программные ошибки, возможно, являются наиболее частыми источниками ошибок в компьютерных науках. Они приводят к нестабильности и в общем поведении программного обеспечения компьютера, и серьезно подорвать надежность компьютерных симуляций.

Ошибки программного обеспечения можно найти во множестве мест и практик. Например, практика программирования является главным источником программных ошибок, поскольку у программирования может получиться чрезвычайно сложным. Неисправный компилятор и несовершенный компьютерный язык также привлечет внимание к проблемам надежности компьютерного программного обеспечения. Более того, ошибки дискретизации являются основным источником ошибок при компьютерном моделировании, поскольку они вызывают из процесса интегрирования, дифференцирования и интегрирования ряда математических уравнений.

Конечно, некоторые из этих ошибок можно избежать, но другие оказываются более сложными. Например, в плохом программировании можно обвинить неуклюжего программиста. С. Лоуренс Уэнам перечислил несколько признаков, которые делают программиста плохим (Уэнам 2012). К ним относятся неспособность рассуждать о коде (например, наличие «код вуду» или код, который не влияет на цель программы но все равно как уратно подерживается), плохое понимание программирования языка модели (например, создание нескольких версий одного и того же алгоритма для обработки разных типов или операторов), хроническое плохое знание возможностей платформы (например, заново изобретать классы и функции, встроенные в язык и программирования), неспособность понять указатели (например, выделение произвольных больших массивов для коллекций переменной длины) и трудность с пониманием рекурсии (например, думать, что количество итераций будет передано в качестве параметра). Список расширяет значимые

неназком. В любом случае программирование — это интеллектуально требовательная деятельность, в которой даже самый опытный и талантливый программист может ошибаться.

Попутно заметим, что эти программные ошибки разделяют тот факт, что все они связаны с человеком. Как уже отмечалось, ошибки в программировании еще всего делают программисты. Глупый — и все же катастрофически — пример — марсианский климатический орбитальный аппарат, с помощью которого НАСА потратило все контраты почти через год после его запуска в декабре 1998 года. Правление от ветственного за расследование аварии пришел к выводу, что восемь факторов способствовали катастрофе: одной из категорий были названы компьютерные модели, от ветственных за навигацию зонда. Из-за ошибок и программирования компьютерные модели перестали работать. перевод и единицы фунт-секунды не соответствующие системе СИ (т.е. английские единицы), в метрической системе секунды системы СИ (метрической единицы)²⁰.

На этом этапе можно сделать вывод, что программные ошибки обусловлены человеческим фактором и следуют ему, искиреняется при надлежащем обучении. Тогда можно подумать, что это правда даже для случаев неисправного компилятора и ошибочного компьютерного языка, поскольку у них на основе неверных спецификаций и отсутствующих процедур реализации (например, ошибка выводов), и следуют ему, так же адаптированы для человека. Кроме того, даже процент дискретизации и математических уравнений адаптированы для человека, поскольку они все еще переносятся. большинство чистых математиком — или учеными-компьютерщиками, или инженерами. В конце концов, программные ошибки — это человеческие ошибки.

На самом деле все немного сложнее, чем здесь изображено. Есть несколько источников ошибок, не зависящие от трудностей обучения привычек программирования — или ошибок, возникающие из-за наших ограниченных когнитивных способностей, но из-за распространения ошибок в итеративном процессе вычислений; то есть вид программных ошибок, категория компьютерных ошибок, вводят в процесс моделирования. Пример может проиллюстрировать этот момент. Один из способов решения нелинейных функций — аппроксимировать результат вычисления итерационными методами. Если все идет хорошо, то есть если процент дискретизации и априорное программирование в имитационную модель верны то множество решений симуляций сходятся к правильному значению с небольшим запасом error.²¹ Хотя это стандартная практика, в ряде случаев набор решений неочевидно из-за постоянного накопления ошибок в процессе вычислений. Ошибки такого рода извещают как ошибки конвергенции, и они останавливаются повод для беспокойства, когда их присутствие остается незамеченным.

Хорошо извещено, что две наиболее важные ошибки сходимость — это округление. ошибки и ошибки усечения. Как правило, первые вводят по размеру слова компьютера, что приводит к ограниченной точности действий чисел. Ошибки усечения, с другой стороны, ошибки, допущенные сокращением бесконечной суммы до меньшего размера и аппроксимация конечной суммы.

Часто проиллюстрировать потенциально негативные последствия ошибок округления при компьютерном моделировании, снова рассмотрим пример, представленный на стр. 11 спутниковой модели, вращающийся вокруг планеты Там, если уравнение, соответствующее количеству полной энергии E (уравнение 1.1), должно уменьшаться, то большая полуось а должна стать

²⁰ Артур Стэфенсон, председатель Совета по расследованию неудач миссии Mars Climate Orbiter, на самом деле считал, что это было основной причиной потерь связи с марсианским климатическим орбитальным аппаратом зонда. См. (Дуглас и Сэвидж, 1999).

²¹ При условии, конечно, что нет аппаратных ошибок.

меньше. Но если угловой момент H (уравнение 1.2) должен быть постоянным, то эксцентриситет e должен стать меньше. Иными словами, орбита должна округляться.²² Объясняемая так им образом тенденция эксцентриситета орбиты неуклонно снижается, как показано на рис. 1.3.

Теперь хорошо известно, что исследователи используют компьютерное моделирование, потому что оно дешевле, быстрее и проще в настройке, чем реально построить спутник и вывести его на орбиту. Многие философы даже утверждали, что по этим причинам компьютерные модели действительны так, как если бы они были настоящими спутниками, вращающимися вокруг планет, находящейся под воздействием приливов. Я считаю, что нет ничего более далекого от истины. Исследователи хорошо осознают пределы своих симуляций и знают, что даже если всплески, показанные на рис. 1.3, могут быть приписаны реальному спутнику, вращающемуся вокруг реальной планеты и т. д., они все равно не могут приписать устойчивый нисходящий тренд, который они видят в одной и той же визуализации. Почему нет? Потому что это не то, что на самом деле происходит в реальном мире, а артефакт симуляции (то есть ошибка округления). Если бы от эффекта действовало бы приписывали поведению реальной планеты, мы бы увидели, что орбита спутника стала круговой. Но опять же, это всего лишь артефакт вычисления ошибки округления в имитационной модели (Джран, 2017). Вулфсон и Перт, конечно же, хорошо знают об этом факте, поскольку они тоже программисты и поэтому могут принять надлежащие меры, чтобы избежать их или, в случае необходимости, устранить такую ошибку.

В качестве примера измерения ошибок усечения можно привести метод Рунге-Кутты, который, кстати, используется и при моделировании движения спутника вокруг планет. По оценкам исследователей, этот алгоритм имеет локальную ошибку усечения порядка $O(h^p + 1)$ и общую накопленную ошибку порядка $nCh^{p+1} = C(x - x_0)h^p$. Однако, поскольку обе функции являются итеративными, вывод локальной и общей ошибки будет зависеть от каждой итерации, и поэтому трудно определить точную ошибку. Вулфсон и Перт включают в подпрограмму NBODY своего моделирования подпрограмму Рунге-Кутты с автоматическим пошаговым управлением и предлагают исследователям «следить» за любым непреднамеренным результатом.

Теперь мы можем легко предположить, что предварительное знание о существовании ошибки, а также наличие средств для ее измерения представляют собой значительные преимущества для общей оценки результатов компьютерного моделирования. В этой конкретной симуляции авторы отмечают, что, хотя симуляция спутника, вращающегося вокруг планет, отчасти проста для понимания, есть определенные эффекты, которые могут быть неочевидны на первый взгляд. Тот факт, что всплески будут возникать, например, является одним из таких эффектов. Авторы считают, что хорошая симуляция всегда будет приносить новые, неожиданные и важные особенности исследуемой целевой системы (Вулфсон и Перт, 1999, 22). К этой мысли мы должны добавить, что наличие ошибок также приносит новые и неожиданные результаты, с которыми исследователи должны научиться справляться.

²² Это интерпретация обмена между энергией и угловым моментом (Вулфсон и Перт, 1999, 18). Заметим, что авторы говорят не об «ошибках», а только об округлении орбиты. Этот пример также показывает, что ошибки округления можно интерпретировать как неотъемлемую часть программирования компьютерного моделирования. Это, конечно же, не мешает квалифицировать их как «ошибки».

4.3 Ошибка и непрозрачность

121

4.3.2 Эпистемическая непрозрачность

Предыдущее обсуждение было попыткой показать, как ошибки могут способствовать общей неточности результатов, так изображением, поставив под угрозу надежность компьютерного моделирования. В представленном виде существует столько же источников ошибок, сколько и способов их устранения. С ними. Учитывая все обстоятельства, мы можем с полным основанием сказать, что ошибок много, но не все, естественно – в той или иной мере исправимы, а потому не столько критичны. Достоверность компьютерного моделирования. К сожалению, вынуждены использовать техник – и, следовательно, но, в компьютерных симуляциях – гораздо более тревожных источников недоверия, чем ошибки, то есть эпистемологическая непрозрачность.

История этой концепции восходит задолго до использования компьютеров в научных целях. Однако именно Пол Хамфрис ввел этот термин как отличительная черта информатики (Хамфрис, 2004). По его мнению, существенной чертой эпистемологической непрозрачности является то, что исследователи не могут, как когнитивно, ограниченные человеческие существа, что бызвать все соответствующие соотношения данного вынужденного процесса в любой момент времени. Аргумент весьма убедителен. Там сказано, что ни один человек – или группа людей – могли бы возможно, изучить каждый элемент вынужденной процесс, относящийся к оценке и обоснованию результатов. Снова же, «обоснование результатов» здесь просто означает наличие оснований полагать, что результаты правильны. Так изображением, эпистемологическая непрозрачность понимается как невозможность приобретения знаний о данном вынужденном процессе, за которой следует неспособность обосновать результаты этого процесса (148). Что бы характеризовать эпистемологическую непрозрачность более формально, я воспроизвел и определение Хамфрис:

процесс по существу эпистемическая непрозрачен для [когнитивного агента] тогда и только тогда, когда он невозможно, учитывая природу X, что бы X знал все эпистемически релевантные элементы процесса (Хамфрис 2009, 618).

Разобьём эту характеристику на основные составляющие. Во-первых, вид Процесс, к которому имеет вид Хамфрис, — это вынужденный процесс, такой как выискивание имитационной модели. Можно, конечно, спросить, существует ли невынужденные процессы к оторые также квалифицируются как эпистемическая непрозрачные. Как было предложено, концепция не зарезервирована только для компьютерных процессов, но имеет долгу историю математических и социологий. Далее в этом разделе я обсуждаю точку зрения двух математиков и философов, который заявляет о трех формах непрозрачности с математическими и социологическими ориентациями, которые также влияют на компьютерное моделирование.

Еще одним важным компонентом приведенного выше определения является понятие эпистемически релевантных элементов для каждого процесса. Насколько мы можем судить, эпистемически релевантным элементом вынужденного процесса являются любая функция, переменная, указатель, память и, вообще, любой компонент, прямо или косвенно участвующий в выискивании модели для целей рендеринга результатов. Наконец, когнитивный агент X относится к любому оличествующему исследователю, вовлеченных в эпистемическую непрозрачный процесс. К оличествующему исследователю, конечно, не имеет значения.

Теперь мы можем положить на реконструировать данную Хамфрисом характеристику эпистемологическую непрозрачность следующим образом. Компьютерные симуляции эпистемическая непрозрачны для любого числа исследователей тогда и только тогда, когда невозможно узнать эволюцию времени

переменных, функций и т. д. в вычислительном процессе. Следствием эпистемологической непрозрачности и опять же является то, что исследователи не могут обосновать результаты своих симуляций.

Понимаемая таким образом эпистемологическая непрозрачность является веским аргументом в пользу компьютерного моделирования как новых методов в науке и технике. В самом деле, если исследователи не могут обосновать свои результаты то как же у них есть причины доверять им, следовательно, использовать результаты для предсказаний и объяснений? Чтобы проиллюстрировать проблему, снова рассмотрим моделирование движения спутника по орбите в условиях приливного стресса, как обсуждалось в разделе 1.1. Если симуляция основывается на каком-либо случайном этапе, никак ему количественно исследовать не под силу реконструировать текущее состояние симуляции, ретродиктировать предыдущие состояния и предсказывать будущие состояния. Таким образом, исследователи не могут объяснить всплеск и, по крайней мере, на рис. 1.3, поведением реального спутника в условиях приливного стресса. Насколько им известно, всплеск и могут быть просто шумом или артефактом вычислений. Таким образом, эпистемологическая непрозрачность дает многим философам веские основания отвергать утверждение о том, что компьютерное моделирование является надежным источником информации о мире (например, (Guala 2002; Parker 2009)).

Чтобы предоставить эпистемологическую непрозрачность еще более перспективно, сравните ее с некоторыми формами ошибок. Как обсуждалось ранее, некоторые аппаратные ошибки можно устранить и полностью устранить, например, за счет резервирования в системе. Ошибки программного обеспечения во многих случаях можно предвидеть с помощью хорошей практики программирования и методов проверки и проверки. Если рассматривать только ошибки, то наше незнание должно быть только временным. После обнаружения и исправления наших знаний о компьютерных процессах восстанавливаются, а вместе с ними и способность исследовать и обосновывать результаты компьютерного моделирования. Эпистемическая непрозрачность, с другой стороны, предполагает глубокую и потенциально необратимую неопределенность в отношении вычислительного процесса, который исследователи не в состоянии контролировать или обратить вспять. Как следствие, результаты выходят за рамки любого возможного оправдания.

Эпистемическая непрозрачность, следовательно, не является формой ошибки. Это ясно. Однако можно разумно утверждать, что эпистемическая непрозрачность знамениточнее, как знамениты абстракция и идеализация. Аргумент здесь состоит в том, что все это является формами выводов и степеней детализации данного процесса (например, целевой системы компьютерного процесса и т. д.) и, таким образом, способствовать знанию. Но в отличие от эпистемической непрозрачности, понятия абстракции и идеализации относятся к способам игнорирования некоторых аспектов процесса, чтобы расширить наши знания о нем. Исследователи привлекаются от цинизма в пустыне Сахара, поскольку он абсолютно не имеет значения для оценки его возраста (Kroepelin 2006; Schuster 2006). Тот же идеализации имеют место при реконструкции ископаемого воздействия аэрозоля на смешанные и ледяные облака, поскольку они не включают моделирование, использованное Benstsen et al.

(Бентсен и др., 2013, стр. 689). Таким образом, вопреки эпистемологической непрозрачности, абстракция и идеализации имеют общую цель расширить наши знания, а не уменьшать их.

Более того, в отличие от абстракции и идеализации, наличие эпистемической непрозрачности навязывает исследования, а не выявляет их.

Ключ к пониманию эпистемической непрозрачности заключается в том, чтообычно глянуть на математическую и на то, как они обрабатывают понятие «наблюдаемость» док азательств и вычислений.

Математический истинный так же как теоремы леммы док азательств и вычисления, в принципе поддаются обзору; что

то есть математик и инженер когнитивный доступ к уравнениям и формулам, а также к каждому шагу док азательства и исследования. С появлением компьютеров возможность наблюдения в математике становится немного более непрозрачной. Исторически и интересный пример, который иллюстрирует типичный эмпирический тревоги, который орудует является такая непрозрачность, является док азательством теоремы четырех распахнутых Аппеля и Вольфганга Хакена (Appel and Haken 1976a, 1976b). Дональд Маккензи вспоминает, что когда Хакен представил док азательство, аудитория разделилась на две группы примерно в возрасте сорока лет. Математик из аконч ились сорок не могли быть убеждены что компьютер может дать математическую и правильную док азательство; и математик и моложе сорока лет не могли быть убеждены в том, что док азательство того, что 700 страниц ручных вычислений могут быть правильными (MacKenzie 2001, 128). Анекдоток рассказывает, как возможность исследования лежит в основе эпистемологической уверенности и математическими вычислениями методом. В конце концов, Аппель и Ханкен представили независимые причины того, почему их программа была надежной и, следовательно, дал достоверные результаты

Под эти заголовком относится не просто провести связь между наблюдательностью и эпистемологической непрозрачностью первое препятствует второму. В эпоху компьютеров, однако можно справедливо спросить, нужно ли вообще исследовать компьютерную симуляцию чтобы претендовать на надежность и доверие. Цель работы компьютерного моделирования, по-видимому, заключается именно в том, чтобы обойти и сложные вычисления, используя машину для тяжелой работы. На самом деле последние, которые следуют за эпистемологической непрозрачностью резюмируют успех компьютерного моделирования в научной и инженерной практике²³. Если они эмпирически непрозрачны непрозрачность влечет за собой потере знаний, то почему компьютерное моделирование столь успешно в науке и инженерии? исследовать?

Ответ на этот вопрос уже был дан в начале этого раздела. Релейабилитизм, как мы обсуждали ранее, является наиболее успешным способом обойти эпистемическую непрозрачность. В конце этой главы покажу, как релейабилитизм помогает в этом стремление. Но прежде нам нужно обратиться к всем мыслимым формам непрозрачности для компьютерных симуляций.

В недавней статье Андреас Камински, заведующий философским отделом Штутгартского университета происхождения вычислений (HLRS), Майкл Ресх директор HLRS, и Уве Кустер, руководителем отдела численных методов, представили три различные формы непрозрачности, которые они назвали социальную непрозрачность технологической непрозрачностью математической непрозрачностью, которые имеет внутреннюю и внешнюю интерпретацию (Камински, Ресх и Кустер, 2018). Все три являются формами непрозрачности, связанными с надежностью компьютерного моделирования и степенью в которой исследователи могут доверять своим результатам. Кратко обсудим их по очереди²⁴.

23 Пример эмпирически непрозрачных, но успешных компьютерных симуляций см. в (Lenhard 2006).

24 Идеи другого автора относятся к эпистемической непрозрачности и эпистемическому доверию, заслуживающие внимания, принадлежат Джулиану. Новичок. По мнению Ньюмана, эмпирически непрозрачность — это симптом того, что разработчики и модели не смогли усвоить здравый смысл. Практики и разработчики программного обеспечения (Ньюман, 2015). Наоборот, за счет разработки и правильных инженерных и социальных практик, как утверждает Ньюман, разработчики и модели смогут избежать нескольких их форм. эпистемологической непрозрачности и, в конечном счете, отвергнуть утверждение Хамфриса о том, что компьютеры являются превосходящим эпистемологический авторитет. Как он ясно выразился: «[...] хорошо спроектированное программное обеспечение не эпистемически

Социальная непрозрачность — это еще одно название разделения труда, широко обсуждаемое социальными эпистемологами. Когда проекты слишком сложны, занимают много времени или включают больше количественных аспектов, разделение труда — лучший путь к успеху. Возьмем, к примеру, измерение количественных параметров в природе. Физики обычно знают, как определить такую величину, какой инструмент использовать и как анализировать данные. Они могли бы даже знать, в каком диапазоне следует ожидать такую величину и что она означает для данной физической теории. Инженеры мало знают об измерительной работе и заботах физиков. Вместе с этим они знают до мелочей, как построить точный инструмент, способный определить интересующую величину. Наконец, у нас есть математик и, молчаливые ученые, которые разрабатывают математическую для прибора, а иногда и для физической теории. Это, конечно, упрощенный и несколько идеализированный случай разделения труда. Дело в том, что бы проиллюстрировать, что разные исследователи сотрудились для достижения одной и той же цели, в данном случае для обнаружения и измерения количественных параметров в природе с помощью очного инструмента. Разделение труда — очень успешная стратегия, в которой участвуют исследователи разных дисциплин, а также разные исследователи в рамках одной дисциплины.

Каминский и другие утверждают, что в контексте разделения труда исследователи знают о своей работе, но не знают о других, и поэтому они должны полагаться на опыт, решения и профессиональные стандарты, которые им не принадлежат (Каминский, Решкиустер, 2018, 267).). Примером является компьютерная симуляция, реализующая модуль, связанный с некоторой программной библиотекой. Обычно так и есть модули и библиотеки и циркулируют между исследователями скими проектами, различными сообществами и их исследователями специализируются до такой степени, что никто сам по себе не знает всех деталей модуля. Существует больше количественных параметров социальными и технологическими исследованиями, подкрепляющей их утверждение: инструменты компьютерные модули и артефакты являются не только технологическими продуктами, но и социальными (Longino, 1990). Понимаемая таким образом социальная непрозрачность — это отсылка к исследователям одного сообщества знаний о технологическом продукте — или технологическом изменении — другого сообщества.

Технологическая непрозрачность, с другой стороны, заимствована из ранних идей математиков, когда исследователи используют теоремы леммы множества математических механизмов, не имея специальных знаний о формальных док азательствах, подкрепляющих их истинность (Kaminski, Resch, and Kuster, 2018). , 267). Идея авторов заключается в том, что нечто под общее можно сказать и о технологических инструментах. Исследователи используют несметное число инструментов, независимо от того, насколько глубоко они могут или не могут иметь представление об инструменте. Под «глубоким пониманием» Kaminski et al. означают любое понимание, которое выходит за рамки простого знания того, как успешно использовать инструмент.

Хотя социальная и технологическая непрозрачность признаны начинающими исследователями, негативно влияющими на оценку результатов, авторы придают большее значение математическим непрозрач ности как централь ной форме эпистемологической непрозрач ности для компьютерного моделирования. В этом контексте они претендуют на две формы математической непрозрач ности, а именно интерналистскую и экстерналистскую формы (270). Внутренняя математическая непрозрач ность понимается как неспособность когнитивного агента исследовать имитационную модель из-за непрозрач ный: его модульная структура будет способствовать сокращению первоначальных ошибок, распознаванию и исправлению опущенных ошибок, а затем сформировать интеграцию новых программных компонентов». (Ньюман 2015, 257).

его сложность. Действительно, чем резвейно сложнее, если вообще возможно, исследовать имитационную модель, включая сложные математические свойства (например, коммутативность, дистрибутивность и т. д.) и выисливаемые машины (например, условные операторы ввода-вывода и т. д.). С другой стороны, внешняя математическая непрозрачность состоит в том, что когнитивный агент не может решить математическую модель своими собственными средствами, и поэтому приходится реализовывать его на компьютере. Из этого следует, что выисливаемый процесс для решения модели больше недоступен агенту. Таким образом понятно, эксперналистский подход очень похож на идеалистическую непрозрачность и представлен Хамфрисом.

В связи с этим возникли два вопроса. Во-первых, нам нужно спросить, до какой степени эти формы непрозрачности и фактически представляют проблему для оценки и обоснования результатов. Напомним, что обосновывать результаты означает иметь основания верить, что результаты верны. Поскольку эпистемологическая непрозрачность является истинным сомнением, вопрос должен быть задан. Во-вторых, вопрос о том, существуют ли способы обойти или обойти форму эпистемологической непрозрачности. Мой ответ, что есть. В самом деле, я уже представил решение в начале этой главы. Давайте сейчас ответьте на каждый вопрос по очереди.

Каминский и др. правы, указывая на то, что социальные, технологические и интерналистские аспекты казрения на математическую представляют собой формы эпистемологического интереса. Однако я скептически отношусь к тому, что они представляют проблему для оценки результатов компьютерных исследований симуляций. Мои выводы связаны с тем, что Kaminski et al. не делают явным, что составляет эпистемический элемент для каждого процесса. Когда мы делаем эти простые элементы стеном, что это эти формы непрозрачности не обязательно но поставляет подугроз обоснование результатов компьютерного моделирования. Чобы поставляет ту же точку более конкретно, я выделяю характеристики этих процессов, которые делают их эпистемическим и более «прозрачным» — однако такая прозрачность может быть измерена — и, таким образом, не представляет реальной угрозы для обоснования результатов компьютерного моделирования.

Во-первых, все три формы непрозрачности зависят от правильного количественного описания. Как правило, исследователи интересуются только ограниченным объемом информации, которая имеет значение для обоснования результатов. Когда будет получена нужная сумма, тогда они предполагаемый уровень прозрачности. Например, зная, что псевдослучайный механизм модуль выдает следующие числа {0,763,0,452,0,345,0,235...} может быть менее эпистемическим и релевантно для обоснования результатов моделирования, чем знание того, что результаты выпадают в диапазоне $0 < i < 1$. Принимая в том, что исследователи могут предпочесть последнюю формулировку, потому что она достаточна, проще формулировать, и математическим и более управляемым. Отсутствуют внутренние причинные составляющие знание каждого псевдослучайного числа более эпистемическим и релевантно, чем простое представление ассортимента.

Таким образом, правильное количественное описание — это способ уменьшить давление социальных, технологических и математических процессов эпистемическим и непрозрачным. Как показывает пример внутренней математической непрозрачности, представление диапазона, а не каждого индивидуальной ценности лучше способствует обоснованию результатов.

Имея это в виду, можно также привести примеры социальной и технологической непрозрачности. Например, многие исследователи понятия не имеют, как компьютеры находят переменные и их значения в памяти. Однако этот факт не мешает про-

грамматик амотук азания в своих кодах, где в памяти должна находиться переменная, располагается. Зная это, исследователи могут обосновать, почему результаты имеют заданное значение. ошибка усечения - скажем, потому что это 8 МБ памяти и размер хранимого значения составляет 16 МБ. Это пример того, как технологическая непрозрачность не обязательно повлияет на обоснование результатов.25 Кроме того, исследователи могли обосновать результаты своих симуляций, не имея никакой информации о том, как были разработаны и запрограммированы процедуры хранения и выборки значений в памяти. Другими словами, социальная непрозрачность также не влечет за собой отсуствия оправдания.

Второй характеристикой, говорящей в пользу эпистемологической прозрачности, является право уровня описания процесса. Это идея о том, что эпистемический релевантные элементы адаптированы описанию на разных уровнях процесса. В отличие от предыдущего, характеристики, которые подчеркивают количество информации, здесь акцент делается на глубину заданного объема информации. Так, на низких уровнях описания некорректный процесс не прозрачен тогда как на более высоких уровнях они непрозрачны. В технологическом процессе, например, исследователи, как правило, не знают до мелочей каждый эпистемический значимый элемент, адаптированный к инструменту, но вряд ли это кажется аргумент в пользу непрозрачности. Ч тобы проиллюстрировать это положение, представьте себе вымышленный случай, когда исследователи знают каждую деталь работы физического компьютера, начавшаяся с того, что каждый транзистор играет в компьютере, к задействованным физическим законам, которые позволяют компьютеру, чтобы работать, как он делает. Тогда возникает вопрос: будет ли как-либо исследовать извлечь выгоду из этого избытка знаний или вместо этого он будет бременем для обоснования результатов? Кажется довольно очевидно, что о глубокое знание процесса может на самом деле ок азываться контрпродуктивными.

В случае социальных процессов, например, исследователи обмениваются идеями и соотв етствующей информацией с коллегами о проектных и программных решениях. функциональность программного модуля. Социальные процессы являются мракобесными практиками, но они хорошо задокументированы (Latour and Woolgar 2013). Эта точка зрения также применимо к интерналистской точке зрения математиков, если бы мы поверили и утверждали, что математики в какой-то степени представляют собой социальный процесс (Де Милло, Литтон и Перлис 1979).

Обе рассмотренные выше характеристики и достаточности эпистемологической прозрачности и социальные, технологические и внутренних математических процессов. опасения по поводу предполагаемой непрозрачности этих процессов. Ч то Кэмински и соавт. выдвигают «непрозрачность» на самом деле является пренебрежительным отношением к этим процессам. Разделение труда состоит в пренебрежении подробностями работы других исследователей, что бы продвигать свою собственную вперед. Технологическое процесс пренебрегает информацией об инструментах и аппаратах, что бы иметь возможность более эффективно использовать тактику. И, наконец, внутренние математические процессы используют аналогичный принцип пренебрежения, поскольку они пренебрегают информацией о конкретных шагах доказательства, что бы облегчить утверждение дальнейшие математические истинны.

В этом отношении социальные, технологические и внутренние математические процессы игнорируются. информация, что былучшить наше эпистемическое понимание. Другими словами, они не

²⁵ Хамфрис использовал аналогичный аргумент, что бы указать, что исследователям не нужно знать детали инструмента, что бы знать, что результаты какого инструмента верны (например, что наблюдаемая сущность действительно существует) (Хамфрис 2009, 618).

имело целью опровергнуть обоснованность результатов, а скорее усилить их эпистемологическую ценность. Исследователи зачастую игнорируют формы пренебрежения к аксиоматическим и используемым абстракциям и идеализациям. Стандартная философия науки исходит из того, что цель абстракций является игнорирование конкретных особенностей, которыми обладает целевая система, чтобы сосредоточиться на их формальном устройстве (Фригг и Хартманн, 2006). Идеализация, с другой стороны, бывает двух видов: в то время как артистическая идеализация состоит в «отбрасывании» свойств, которыми мыслитель не занимается к делу.

Для наших целей галилеевская идеализация включает преднамеренные искажения (Weisberg 2013).

Сходство между всеми тремя формами непрозрачности, абстракций и идеализаций происходит, опять же, из того факта, что все это и процесс предназначены для улучшения нашего восприятия. Доверять результатам моделирования, а не подражать им. Социальные процессы включают не только для успеха сотрудничества. Что-то подобное можно сказать о технологических процессах. Модульность, например, была создана, чтобы помочь исследователям сосредоточиться на том, что является наиболее важным в их работе. Прогресс в науке сильно зависит от этих форм непрозрачности, точно так же, как от абстракций и идеализаций.²⁶

По причинам, изложенным выше, кажется, что мы можем классифицировать социальную технологическую или интерналистскую точку зрения на математический процесс как эпистемическую и непрозрачную. В смысле, установленном в начале этого раздела; то есть, что наша точка зрения не может быть возвращена, нейтрализована или предвидена. Это, конечно, не означает, что они не представляют собой самостоятельную эпистемологическую проблему. Они поднимают важные вопросы касающиеся научной и инженерной практики, но в принципе ни одного общего интересующей нас здесь проблемой эпистемологической непрозрачности.

Внешняя математическая непрозрачность, или просто эпистемологическая непрозрачность, — это совсем другое дело. Животное. В то время как социальная, технологическая и внутренняя математическая непрозрачность ставят людей в центр анализа, в контексте эпистемологической непрозрачности Хамфриса — или внешняя математическая непрозрачность Кэмински и др. — у людей нет такой соотнесенности. Вместо этого Хамфрис сосредотачивается на процессе вычислений и в качестве основного эпистемического и непрозрачного. Понимаемые таким образом, компьютерные процессы не люди, являются исключением из понимания эпистемологической непрозрачности. Вот почему Хамфрис утверждает, что компьютеры вытеснили людей из центра производства знаний. Люди, перефразируя Хамфриса, являются частью юстиции эпистемологии.

Теперь мы можем отвести на наш второй вопрос, целью которого является рассмотрение способов, которыми эпистемологическая непрозрачность.²⁷ Интересно, что ответ на этот вопрос может быть восходит к началу этой главы где мы обсуждаем формы предостережения надежности для компьютерного моделирования.²⁸

26

Сам Хамфрис проводит параллели между социальными процессами и социальной эпистемологией и заключает, что ни в том, ни в другом нет настоящей новизны, которая могла бы в большей степени повлиять на компьютерное моделирование. Степень, в которой они влияют на любую другую научную художественную или инженерную дисциплину (619).

На самом деле релятивизм может быть использован для обхода всех форм непрозрачности и, следовательно, социальной непрозрачности, технологической непрозрачности и внутренней математической непрозрачности.

Я вожу и обсуждаю релятивизм в контексте компьютерного моделирования впервые в (Дикран, 2014).

Чтобы ратко резюмировать, вспомните из раздела 4 наше обсуждение того, как исследователи обоснованно полагаются, что результаты компьютерного моделирования верны для цели системы. Там мы сказали, что есть надежный процесс — компьютерное моделирование — чтобы вероятность того, что следующий набор результатов будет правильным, больше, чем вероятность того, что следующий набор результатов правильный, учитывая, что первые результаты были просто удачными производятся ненадежным процессом. Компьютерное моделирование — надежный процесс потому что существуют хорошо зарекомендовавшие себя методы проверки и подтверждения, доверие к результатам. Другими словами, наше доверие к результатам эпистемически непрозрачный процесс, такой как компьютерное моделирование, задается процессами, внешними по отношению к самой симуляции, но это обосновывало их надежность — и которые, по сути, сами по себе непрозрачные.

4.4 Заключение и замечания

Завоевать доверие к компьютерному моделированию его результатов — непростая задача. Как неоторы существуют непреодолимый эпистемологический барьер, наложенный самой природой компьютера и компьютерных процессов, который никогда не позволит нам, людям, знать, как происходит процесс имитации. Такая точка зрения позволяет утверждать, что компьютерное моделирование не так надежно, как лабораторные эксперименты. Таким образом, их эпистемологическое значение должно быть уменьшено — к чему это уже обсуждалось в главе 3. Для других, включая меня, нам не нужно иметь полную эпистемологическую прозрачность вычислительных процессов, чтобы претендовать на знание. Скорее, исследователи могут действовать, зная, что в мире независимости от того, непрозрачности, связанной с симуляцией. Конечно, все еще нужны какие-то минимальные критерии того, что составляет надежную компьютерную симуляцию, чтобы избежать любых претензий к знаниям. Одним из таких критериев является встроены компьютер моделирование как надежный процесс.

На протяжении всей этой главы было просто похвалить множество дискуссий, связанных с эпистемологическим доверием к компьютерным симуляциям, а также многочисленные философские размышления. направления, по которым должны пройти эти обсуждения. Уточнение неоторы концепций помогло нам лучше понять основные проблемы, к сожалению этого никогда не бывает достаточно. Здесь я занял четкую позицию согласно которой можно доверять компьютерному моделированию предоставляет на эпистемологических основаниях, и что релятивизм — это правильный путь. Следующая глава предполагает многое из того, что было сказано до сих пор, покаясь, как проявляется такое доверие в научной и инженерной сфере. Я назвал их «эпистемическими функциями», чтобы выделить множественные формы понимания, предлагаемые компьютерным моделированием в научная и инженерная практика.

²⁹ В (Duran and Formanek, 2018) мы расширяем историчность и надежность до историчности (не)успешных компьютерных симуляций, анализа надежности и роли эксперта в санкционировании компьютерных симуляций.

Рекомендации

Ажели, Марко, Бруно Гонсалвеш Дуйгу Балкан, Витория Кольца, Хао Ху, Хосе Дж. Рамаско, Стефано Мерлер и Алессандро Веспиньяни. 2010. «Сравнение крупномасштабных вычислительных подходов к моделированию эпидемий: агентные и структурированные модели метапопуляций». BMC Infectious Diseases 10 (190): 1–13.

Апель, Кеннет и Вольфганг Хакен. 1976а. «Каждая плоская карта может быть раскрашена в четыре цвета». Бюллетень Американского математического общества 82 (5): 711–712.

———. 1976b. «Доказательство теоремы 4 цветов». Дискретная математика 16 (2): 179–180.

КАК Я. 2006. Руководство по проверке и проверке вычислительной механики твердого тела. Американское общество инженеров-механиков, стандарт ASME V&V 10-2006.

Бауманн, Р. 2005. «Программные ошибки в передовых компьютерных системах». IEEE-дизайн Тестирование 22, вып. 3 (май): 258–266.

Бентсен, М., И. Бетке, Дж. Б. Дебернар, Т. Иверсен, А. Киркевэг, ? Селанд, Х. Дранджидр. 2013. «Норвежская модель системы Земли, NorESM1-M — Часть 1: Описание базовой оценки физического климата». Разработки географической модели 6, вып. 3 (май): 687–720.

Де Милло, Ричард А., Ричард Дж. Литтон и Алан Дж. Перлис. 1979. «Социальные процессы доказательства теорем и программ». Сообщения ACM 22 (5): 271–281.

Дуглас, Ишбелл и Дон Сэвидж. 1999. «Отчет об орбите Mars Climate Orbiter, в ответ на комментарий NASA принимает многочисленные действия». <https://marc.jpl.nasa.gov/msp98/news/mco991110.html>.

Дюран, Хуан М. 2014. «Объяснение смоделированных явлений: защита эпистемической силы компьютерного моделирования». Кандидатская диссертация, Университет Штутгарта.

———. 2017. «Разнообразие моделирования: от аналогового к цифровому». В журнале «Наука и искусство моделирования», 2015 г., под редакцией М. Реша, К. Аминского и П. Геринга. Спрингер.

Дюран, Хуан М. и Николас Форманек. 2018. «Основания для доверия: Essential Epistemic Непрозрачность и вычислительная надежность». неопубликованный.

Элгин, К. 2009. «Является ли понимание фактом?» В книге «Эпистемическая ценность» под редакцией А. Хаддока, А. Миллара и Д. Х. Причарда, 322–330. Издательство Оксфордского университета.

Элгин, Кэтрин. 2007. «Понимание и факты». Философские исследования 132 (1): 33–42.

Флориди, Лучано, Нир Фреско и Джузеппе Примьеро. 2015. «О неисправностях программного обеспечения». Синтез 192 (4): 1199–1220.

Фреско, Нир и Джузеппе Примьеро. 2013. «Просчет». *Философия и технологии* 26 (3): 253–272.

Фригг, Роман и Стефан Хартманн. 2006. «Научные модели». В *Философии наук и Энциклопедии* под редакцией С. Саркара и Дж. Пайфера, 740–749. Рутледж.

Голдман, Элвин И. 1979. «Оправдание и знание». В «*Обосновании и знании: новые исследования в эпистемологии*» под редакцией Джорджа Сотираса Паппаса, 1–23. Дордрехт: Спрингер.

Гримм, Стивен Р. 2010. «Цель объяснения». *Исследования по истории и философии наук* 41:337–344.

Гуала, Франческо. 2002. «Модели, моделирование и эксперименты». В *Модели на основе Рассуждения: наука, технология, ценность*, под редакцией Л. Маньяни и Н. Дж. Нерсисяна, 59–74. Клувер Академик.

Хэддок, Адриан, Алан Миллар и Дункан Причард. 2009. *Эпистемическая ценность*. Издательство Оксфордского университета.

Халфхилл, Том Р. 1995. «Правда обошибе Pentium: как часто пять Пустыняк и в справочной таблице FPU Pentium означают просчет заклиниваний?» БАЙТ (Маршировать).

Хассе, Ханс и Йоханнес Ленхард. 2017. «Благовещение и проклятие: роли регулируемых параметров в имитационных моделях». В «*Математический инструмент*» под редакцией Йоханнеса Ленхарда и М. Кэрриера. Бостонские исследования по истории и философии наук.

Хамфрис, Пол В. 2004. *Расширение себя: выиспытывающая наука*, Empiri. Издательство Оксфордского университета.

———. 2009. «Философская новизна методов компьютерного моделирования». *Синтез* 169 (3): 615–626.

Игикова, Джонатан Дженкинс и Маттас Стюл. 2012. «Анализ знаний». В *Стэнфордской энциклопедии философии* под редакцией Эдварда Н. Залты.

Джейсон, Гэри. 1989. «Роль ошибок в информатике». *Философия* 19 (4): 403–416. ISSN: 0048-3893.

Каминский, Андреас, Майкл Реши и Уве Кустер. 2018. «Математический анализ. Über Rechtfertigung und Reproduzierbarkeit в компьютерном моделировании». В *Jahrbuch Technikphilosophie* под редакцией Александры Фридриха, Петры Геринг, Кристофа Хубиг, Андреаса Каминского и Альфреда Нордманна, 253–278. Nomos Verlagsgesellschaft.

Кеннеди, Марк С. и Энтони О'Хэган. 2001. «Байесовская калибровка компьютера». *модели*. *Журнал Королевского статистического общества: Серия В (Статистическая методология)* 63 (3): 425–464.

Ким, Джек-вон. 1994. «Объяснительное знание и метафизическая зависимость». *Философские вопросы* (1994): 51–69.

Китчер, Филип. 1989. «Объяснительная унификация и причинно-следственная структура». В журнале *Scientific Explanation* под редакцией Филипа Китчера и Уэсли С. Лососа, 410–505. Университет Миннесоты Press.

Крепелин, С. 2006. «Возвращение к эпохе пустыни Сахара». 312, нет. 5777 (май): 11386–11396.

Купперс, Гунтер и Йоханнес Ленхард. 2005. «Подтверждение моделирования: закономерности и социальные и естественных наук». *Журнал искусственных обществ и социальных моделирование* 8 (4).

Латур, Бруно и Стив Вулгар. 2013. *Лабораторная жизнь: Строительством научной* естественные факты. Издательство Принстонского университета.

Ленхард, Йоханнес. 2006. «Удивлен нанопроводом: моделирование, роль и понимание». *Философия наук* и 73 (5): 605–616. ISSN: 0031-8248.

Лонгино, Хелен Э. 1990. *Наука как социальное знание: ценности и объективность в* Научное исследование. Издательство Принстонского университета.

Маккензи, Дональд А. 2001. *Механизация док азат ель ст ва: выисления, риск и доверие внутри* Технологий. Массачусетский технологический институт Press.

Мэйо, Дебора Г. 1996. *Ошибка и рост экспериментальных знаний. Издательство Чикагского* университета.

Мэйо, Дебора Г. 2010. «Учиться на ошибках, суровых испытаниях и росте Теоретическое знание». В *Ошибка и вывод. Недавние обменными обэкспериментальных* рассуждениях, надежность, объективность и рациональность и науки, под редакцией Деборы Г. Мэйо и Арис Спанос. Издательство Чикагского университета.

Мэйо, Дебора Г. и Арис Спанос, ред. 2010. *Ошибка и вывод. Недавние изменения Экспериментальном* мышлении, надежность, объективность и рациональность и науки. Издательство Кембриджского университета.

Макфарланд, Джон и Шанкран Махадеван. 2008. «Многомерное тестирование значимости и калибровка модели в условиях неопределенности». *Компьютерные методы прикладных* Механика и машиностроение 197 (29-32): 2467–2479.

Моррисон, Маргарет. 2009. «Модели, измерения и компьютерное моделирование: Изменение облика экспериментов». *Философские исследования* 143 (1): 33–57.

Нейлор, Томас Х., Дж. М. Фингер, Джеймс Л. Маккенни, Уильямс Э. Шранк и Чарльз С. Холт. 1967. «Проверка моделей компьютерного моделирования». *Наука управления* 14 (2): 92–106.

Нейлор, Томас Х., В. Х. Уоллес и В. Е. Сассер. 1967. «Компьютерная имитационная модель текстильной промышленности». *Журнал Американского статистического ассоциация* 62 (320): 1338–1364.

Ньюман, Джулиан. 2015. «Эпистемическая непрозрачность, холизм подтверждения и техникский долг: Компьютерное моделирование в свете эмпирической разработки и программного обеспечения». Вистории и философия выислительной техники и – Третья международная конференция, НаРос 2015, под редакцией Ф. Гаддуччи и М. Тавосаниса, 256–272. Спрингер.

Оберкэмпф, В.Л. и Т.Г. Трукано. 2008. «Эталонные показатели проверки и валидации». Ядерная техника и дизайн 238 (3): 716–743.

Оберкэмпф, Уильям Л. и Кристиан Дж. Рой. 2010. Проверка и валидация в научных выислениях. Издательство Кембриджского университета.

Оберкэмпф, Уильям Л. и Тимоти Г. Трукано. 2002. «Верификация и валидация в выислительной гидродинамике». Прогресс в аэрокосмических науках 38 (3): 209–272.

Оберкэмпф, Уильям Л., Тимоти Дж. Трукано и Чарльз Хирш. 2003. Проверка, валидация и возможность прогнозирования в выислительной инженерии и Физика. Сандийские национальные лаборатории.

Оресекс, Наоми, К. Шрадер-Фрешетт и Кеннет Белиц. 1994. «Проверка, проверка и подтверждение численных моделей в науках о Земле». Наука 263 (5147): 641.

Паркер, Венди С. 2008. «Компьютерное моделирование с помощью атрибутивных линз ошибок». Синтез 163 (3): 371–384. ISSN: 0039-7857.

———. 2009. «Имеет ли значение действительное значение? Компьютерное моделирование, эксперименты и материальность». Синтез 169 (3): 483–496.

Питчард, Дункан. 2013. Что это за вещь, называемая знанием? Рутледж.

Рэдфорд, Кэролин. 1966. «Знание на примерах». Анализ 27 (1): 1–11.

Салари, Патрик и Кэмпбелл. 2003. Проверка компьютерных кодов в Com: предполагаемая наука и техника. Чепмен и Холл.

Сарджент, Роберт Г. 2007. «Проверка и проверка имитационных моделей». Конференция по зимнему моделированию 124–137.

Шурц, Герхард и Карел Ламберт. 1994. «Очерк теории научного понимания». Синтез 101: 65–120.

Шустер, М. 2006. «Эпоха пустыни Сахара». Наука 311, вып. 5762 (февраль): 821–821. ISSN: 0036-8075, 1095-9203. doi:10.1126 / наука.1120161. <http://science.sciencemag.org/content/311/5762/821.full>.

Сейбель, Питер. 2009. Кодеры работы. Апресс.

Шекли, Саймон, Питер Янг, Стюарт Паркинсон и Брайан Винн. 1998. «Неопределенность, сложность и окончательная хорошая наука и в моделировании изменения климата: Являются ли GCM лучшими инструментами?» Изменение климата 38 (2): 159–205.

- Симонит, Том. 2008. «Должен ли каждый компьютерный чип иметь детектор космических лучей?» Новый Ученый. <https://www.newscientist.com/blog/technology/2008/03/do-we-need-cosmic-ray-alerts-for.html>.
- Слейман, К. 2010. «Программные ошибки — история прошлого и недавние открытия». В заключительном отчете Международного семинара по комплексной надежности IEEE 2010 г., стр. 25–30. doi:10.1109/IIRW.2010.5706479.
- Ступ М. и Э. Соса, ред. 2005. Современные дебаты эпистемологии. Черный хорошо.
- Таль, Эран. 2011. «Насколько точно стандартная секунда?» Философия наук и 78 (5): 1082–1096. ISSN: 0031-8248. doi: 10.1086/662268. <http://www.jstor.org/stable/info/10.1086/662268%5C%5Cpapers3://публикация/doi/10.1086/662268>.
- Теллер, Пол. 2013. «Концепция точности измерения». Синтез 190 (2): 189–202. ISSN: 00397857. doi: 10.1007/s11229-012-0141-8.
- Trucano, TG, LP Swiler, T. Igusa, WL Oberkampf и M. Pilch. 2006. «Калибровка, проверка и анализ чувствительности: что к чему». Инженерия надежности и системная безопасность 91 (10-11): 1331–1357. ISSN: 09518320. doi:10.1016/j.res.2005.11.031.
- Вайсберг, Майкл. 2013. Моделирование и подобию. Издательство Оксфордского университета.
- Уэнам, К. Лоуренс. 2012. «Признак того, что вы плохой программист».
- Винсберг, Эрик. 2010. Наука в эпоху компьютерного моделирования. Издательство Чикагского университета.
- Вулфсон, Майкл М. и Джеффри Дж. Перт. 1999. Введение в компьютерное моделирование. Издательство Оксфордского университета.

Глава 5

Эпистемическая функция компьютерного моделирования

В предыдущей главе проводилось различие между знанием и пониманием. В компьютерном моделировании это различие позволяет нам различать, когда исследователи доверяют результатам, когда они их понимают. В этой главе мы исследуем различные формы понимания с помощью компьютерного моделирования. С этой целью я разделю главу на эпистемическую функцию, имеющую языковую форму, и на те, которые характеризуются наличием языковой формы. Это различие предназначено для того, чтобы классифицировать различные способы, которыми исследователи получают понимание окружающего нас мира с помощью компьютерного моделирования. Действительно, иногда компьютерные симуляции отрывают нам мир в форме символов (например, с помощью математических, компьютерных кода, логических, числового предстательства), тогда как иногда доступ к миру осуществляется посредством визуализаций и звуков. Далее я анализирую исследования по научному объяснению предсказаниям и исследователям стратегиям как лингвистическим формам, обеспечивающим понимание мира, и визуализацию как случайные языковые формы.

5.1 Лингвистическая форма понимания

5.1.1 Объясняющая сила

Любая теория научного объяснения направлена на ответ на вопрос «почему q ?», где q может быть фактическим или логическим предложением. Рассмотрим следующие вопросы «почему»: «почему оно разбилось?», «почему оно исчезло в учившихся, бросающих школу 1, увеличивается с каждым годом?», «почему не определено для $x = 0$ » в контексте классического конечного-малого исчисления? Исследователи отвечают на эти вопросы по-разному. Взять для

¹ В некоторых случаях мы можем ожидать объяснения, задавая вопросы «как?». Например, «как кошка забралась на дерево?» — вопрос, требующий объяснения того, как кошке удалось забраться на дерево. Хотя в основе некоторых теорий объяснения лежат вопросы «как», здесь нас будут интересовать только вопросы «почему».

например первый вопрос. Исследовать может правильно объяснить разбитое окно, указав, что оно разбилось из-за брошенного в него камня. У другого исследователя может быть объяснение, основанное на твердости материалов — минералов и стекла — и на том факте, что первое вызывает разрушение второго. Поскольку у минералов из которых состоит камень, тверже, чем у стекла, оно будет разбиваться каждый раз, когда в него бросают камень. Еще один исследователь может использовать в качестве объяснения молекулярную структуру материалов и показать, как свойства одной структуры вызывают разрушение другой. Независимо от уровня детализации объяснения, все они называются тем, что оно разбивается из-за камня.

Обращение к причинам для объяснения не всегда достижимо или даже подходящий. Подумайте о том, что наш ретивый вопрос о том, $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1}{x}$ не определено для $x = 0$? Нет суммы почемужест причины может на самом деле дать хорошее объяснение этому вопросу «почему». Вместо этого мы должны получить ответ из набора схем, используя теоретическое исследование. Один такое объяснение следующее: рассмотрим $\frac{1}{x}$ когда x приближается к 0. Теперь рассмотрим его положительный и отрицательный предел. Таким образом, $\lim_{x \rightarrow 0^+} \frac{1}{x} = +\infty$, тогда как $\lim_{x \rightarrow 0^-} \frac{1}{x} = -\infty$. Отсюда следует, что $\lim_{x \rightarrow 0} \frac{1}{x}$ не существует и, следовательно, не определен.

Приведенные выше объяснения предназначены для иллюстрации различий двух основных компонентов любой теории объяснения. Во-первых, объяснительные отношения, позволяющие нам отвлечься на вопросы «почему», могут принимать несколько форм. Иногда исследователи могут объяснить, указав на причины вызывающие q , тогда как иногда лучше вывести q из совокупности научных убеждений, таких как научные теории, законы и модели.²

Основное требование для каузального подхода состоит в том, что оно определяет, как q вписывается в причинно-следственную связь. То есть, как объяснительные которые вызывают q как его следствие. Итак, камень (т.е. причина) разбил окно (т.е. следствие). Главная задача любого каузального подхода состоит в том, чтобы сформулировать понятие причины а это действующее нотрудная задача. Вот где необходима важная философская работа.

Альтернатива каузальному подходу состоит в получении q из набора установленных убеждений. Мы уже показали, как это можно было бы сделать в случае, когда 1 объяснение почемужест объяснения также утверждает, что их объяснение $\frac{1}{x}$ не определена при $x = 0$. Интересно, что сторонники этой точки зрения может объяснить так же случаи, как разбитое окно. С этой целью исследования необходимо реконструировать в виде схематических предложений несколько известных теорий, имеющих отношение к объяснению и вывести от факта, что оно разбилось. Некоторыми очевидными кандидатами являются ньютоновская механика для траектории движения породы химия для характеристик химической связи и статистическая теория материалов для определения типа стекла, а также его физических свойств, среди прочего.

² Двумя основными теориями объяснения являются онтологическая теория, где в центре находится причинность, и эпистемическая теория, где в центре находится деривация. Основными сторонниками первого являются (Salmon 1984), (Woodward 2003) и (Craver 2007). Основными сторонниками последнего являются (Хемпель, 1965), (Фридман, 1974) и (Китчел, 1989). Читатель, интересующийся многими другими теориями объяснения, должен обратиться к ним (Salmon, 1989).

Вторым компонентом любой теории объяснения является понимание. Почему исследователи должны задавать вопросы «почему»? По каким причинам ученые и инженеры должны быть заинтересованы в объяснении того или иного явления? Ответ заключается в том, что, объясняя, исследователи могут углубить свое понимание того, почему что-то происходит. Объяснение того, почему камень разбит о землю, помогает нам лучше понять физику (например, траекторию снарядов) и химию (например, сопротивление кристаллов), а также простейший феномен о том, разбито ли яйцо.

Чтобы взглянуть на вопрос понимания в некоторой перспективе, подумайте о том, что объяснение имеет основополагающее значение для опровержения ложных теорий. Интересным историческим примером является теория флогистона, господствовавшая в конце восемнадцатого века в отношении химического горения. Согласно этой теории, горючие тела богаты веществом, называемым флогистоном, которое выделяется в воздух при горении. Так, например, при сжигании древесины флогистон выбрасывается в воздух, оставаясь в виде остатка. Итак, теория флогистона основывается на двух принципах, действующих при сгорании, а именно на том, что сожженное тело теряет массу и что воздух

«наполняется» этим веществом, называемым «флогистон». Теория флогистона оказалась под давлением, когда она не смогла объяснить, как при сгорании некое вещество металлы на самом деле приобретают массу, а не теряют ее, нарушая первый принцип. Пытаясь спасти теорию некоего сторонника и предположили, что флогистон на самом деле имеет отрицательную массу и, следовательно, вместо того, чтобы обогатить общую массу тела, он утяжелит его, что согласуется с таким образом с большинством измерений. К сожалению, такое предположение вызывает вопрос о том, что означает для флогистона отрицательная масса, понятие, которое не объяснялось физикой конца восемнадцатого века. Другие сторонники предположили, что флогистон, испускаемый этими металлами, на самом деле легче воздуха. Однако подробный анализ, основанный на принципе Архимеда, показал, что плотность магния вместе с его сгоранием не может объяснить увеличение массы. Сегодня мы знаем, что теория флогистона не могла объяснить увеличение веса некоего металла при горении, что делало ее ложной теорией горения.

Важность научного объяснения компьютерного моделирования двояка. С одной стороны он наделяет симуляций главной эпистемологической функцией, а именно — обеспечивать понимание того, что симулируется. С другой стороны он лишает симуляций простой роли поиска набора решений неразрешимой математической модели — стандартный подход к изложению решения проблем. В этом контексте нас интересуют три вопроса. Это по порядку: «что мы объясняем, когда объясняем с помощью компьютерного моделирования?», «как вообще возможно объяснение компьютерного моделирования?» и, наконец, «какого понимания мы должны ожидать при объяснении?»

Раньше ответить на первый вопрос было довольно просто: исследователи хотят объяснить явления реального мира. Такой стандартный формат большинства теорий объяснения. Либо теория, либо гипотеза, либо модель среди многих других единиц объяснения обладают объяснительной силой для объяснения феномена в мире.

Эту идею выдвинули Ульрих Крехс (2008) и Пол Вейрих (2011).
 позже допрошен мной (Duran 2017). Для этих авторов объяснительная сила компьютерных симуляций происходит из лежащей в их основе математической модели, которая реализована на компьютере, способном объяснить явления реального мира.³ Вейрих проясняет этот момент, когда утверждает, что «[f] или симуляция должна быть объяснительной, модель должна быть объяснительной» (Weirich 2011, Abstract). Точно так же Крехс утверждает, что «в треугольнике реального процесса, теоретической модели и симуляции объяснение реального процесса с помощью симуляции включает в себя обходной путь через теоретическую теорию». модель» (Krohs 2008, 284). Хотя эти авторы расходятся в своей интерпретации того, как математическая модель реализуется в виде компьютерной симуляции, и как они представляют естественистам, они согласны с тем, что симуляция является простым инструментом для нахождения множества решений математических моделей. Так понял, математические модели, реализованные в моделировании, имеют объяснительную силу, а не сама компьютерная симуляция.

Моя точка зрения отличается от Крехса и Вейриха тем, что, по моему мнению, исследователи достигли первичной череды результатов моделирования и следуют ей, их заинтересованность в объяснении роется в четких результатах. Естественно, исследователи будут даже заинтересованы в том, чтобы так же понять реальный мир, который представлен их Результатом. Однако такое понимание мира приходит на более позднем этапе. Чтобы проиллюстрировать мою позицию, рассмотрим пример шипов на рис. 1.3. Исследователи достигли шагов в визуализации, из того, что они хотят объяснить. Тогда вопрос для них состоит в том, «почему возникла вспышка» и «почему существует устойчивая нисходящий тренд»? Важность объяснения результатов моделирования, что исследователи в состоянии так же объяснить настоящие вспышки, наличие реального спутника, планета, расстание, приливная сила и т. д., указанные в имитационной модели. В космосе. Таким образом, запуск надежного компьютерного моделирования и объяснение его результатов исследователи могут объяснить, почему в реальном мире происходят определенные явления, как показано на рис. симуляции, фактически не вступая в какое-либо взаимодействие с самим миром. Объяснение в компьютерных симуляциях — важнейшая черта, которая делает очевидной эпистемическую силу, независимо от сравнения с научными моделями или экспериментами. Кроме того, как я покажу позже в этом разделе, единственная единица, способная для результатов является имитационная модель, в отличие от математической модели, которую Крехс и Вейрих утверждают.

Подводя итог, Крехс и Вейрих считают, что математические модели, реализованные в компьютерном моделировании имеют объяснительную силу, в то время как я утверждаю, что именно имитационная модель — единица анализа, которая на самом деле должна играть эту роль. Более того, Крехс и Вейрих считают, что объяснение отсылает к явлениям реального мира, тогда как я утверждаю, что исследователи в первую очередь заинтересованы в объяснении результатов моделирования, а затем явление реального мира, которое они представляют.

Следующий вопрос: как вообще возможно научное объяснение компьютерного моделирования? Чтобы ответить на этот вопрос, мы должны вернуться к началу этого раздела. Там я упомянул два основных подхода к научному объяснению, а именно:

³ Вспомните наше обсуждение компьютерного моделирования как метода решения проблем в разделе 1.1.1.

каузальный подход, требующий логализации в каузальной связи, и дедуктивный подход, заключающийся в объяснении путем вывода из набора научных убеждений.

Чтобы проиллюстрировать эту грубую терминологию, давайте снова воспользуемся примером спутника, находящегося под воздействием приливного стресса, и объясним, почему возникла пика на рис. 1.3. Причинное объяснение состоит в том, что выброс азота, что в качестве начального условия спутник находится на самом дальнем расстоянии от планеты по отношению к всплеску и возникла только тогда, когда они максимально близки. Когда это происходит, спутник растягивается, что вызвано приливной силой, окисляемой планетой. Соответственно, инерция заставляет приливную выпуклость спутника отставать от радиус-вектора. Отставание и опережение в приливной выпуклости и спутника дают угловой момент вращения при приближении и вычитают его при удалении. При удалении от ближайшей точки приливная выпуклость опережает радиус-вектор, и поэтому эффект меняется на противоположный. Затем всплеск и вызываются обменом между вращением и орбитальным угловым моментом при максимальном сближении (см. (Woolfson and Pert 1999, 21)). Вместо этого логический вывод сначала реконструирует имитационную модель в виде схематических предложений, реализуя, среди прочего, ньютоновскую механику, а затем окисляет, как происходит образование шипов, как показано на визуализации.

Хотя оба объяснения кажутся верными, между ними есть фундаментальное различие. В то время как в каузальном подходе объясняющее от ношение зависит от объективного внешнего от ношения (т. е. каузальных от ношений), в логическом подходе объяснение квантифицируется по набору текущих научных знаний и устоявшихся убеждений. Поскольку компьютерное моделирование является абстрактной сущностью во многом похожей на математическую логику, вполне естественно думать, что объяснение всплесков зависит от совокупности научных убеждений (т. е. от компьютерного моделирования), а не от экзогенных причинно-следственных связей (2017). Я выступаю за первую позицию 5 В это

момент может возникнуть соблазн предположить, что, если имитационная модель объясняет результаты, результаты являются побочным продуктом исчисления имитационной модели, то должен быть какой-то вид аргументативной замкнутости между тем, что исследователи хотят объяснить (т. е. результаты компьютерного моделирования), и объясняемой единицей (т. е. имитационной моделью). Чтобы решить эту проблему, давайте вспомним различие между знанием и пониманием, введенное ранее. Важно, что бымы не путали то, что исследователи знают о результатах моделирования, то есть то, что имитационная модель считает модель и отображает результаты с тем, что исследователи понимают из результатов. Исследователи объясняют, поэтому что хотят что-то понять. Объяснение результатов моделирования помогает им понять, почему произошел тот или иной результат, независимо от знания того, как и что это произошло. Возьмем еще раз пример того, почему возникла пика на рис. 1.3. Дело в том, что

4

В разделе 6.2 я кратко обсуждаю попытку заявить о причинно-следственных связях в компьютерных симуляциях, то есть смогут ли исследователи вывести причинно-следственные связи из компьютерных симуляций. Этот вопрос не следует путать с реализацией причинно-следственной модели, которая вполне возможна при правильной спецификации.

Еще один важный вопрос, говорящий в пользу объяснения путем деривации, заключается в том, что результаты компьютерного моделирования содержат ошибки, которые не могут объяснить причинно-следственные теории (см. (Duran, 2017)).

исследователи знают, что результаты верной модели не говорят о том, почему возник всплеск. Если исследователи не предоставят объяснение, прямо говорящее, что всплеск и возникновение из-за обмена между вращением и орбитальным угловым моментом при максимуме сближения, они не имеют реального представления о том, почему эти всплески существуют. Объяснения работают, когда они работают, не только благодаря правильному объяснителю от ношения, но и потому, что они обеспечивают подлинное научное понимание. Модель Птолемея, например, не могла объяснить траекторию планет как им-либо эпистемический значимый образ, поскольку она не давала понимания планетарной механики. С другой стороны классические ньютоновские модели объясняют именно потому, что они понятным образом описывают структуру движения планет. Критерий закрепления того или иного типа модели в качестве объяснительной частично заключается в их способности обеспечивать понимание исследуемого явления.

Мы наконец, подошли к нашему последнему вопросу, а именно: «Как этого рода понимание мы можем ожидать, объясняя с помощью компьютерного моделирования?» Как мы уже упоминали, исследователи хотят объяснить, потому что они рассчитывают получить более глубокое понимание изучаемого явления и тем самым сделать мир более прозрачным и понятным.

В философии хорошо известен тот факт, что наше понимание может принимать различные формы (Lipton 2001). Одной из таких форм является отожествление понимания с наличием веских причин полагать, что что-то имеет место. Согласно этой интерпретации, объяснения дают веские основания верить в результаты амкомпьютерного моделирования или полагать, что мир ведет себя так, как его описывает компьютерное моделирование. Хотя эта точка зрения привлекательна, она не в состоянии провести различие между знанием того, что что-то имеет место, и пониманием того, почему это происходит. Тот факт, что моделирование показывает, что вокруг Млечного Пути должно быть намного больше маленьких галактик, чем наблюдает в телескопы, дает прекрасную причину полагать, что это действительно так, но не дает ни малейшего представления о том, почему (Бемидр, 2014).

Другой способ оторвать объяснение обеспечивает понимание, заключается в сведении неизвестного к чему-то более знакомому и, следовательно, известному. Эта точка зрения основана на таких примерах, как кинетическая теория газов, где незнакомые явления сравниваются с более знакомыми явлениями, такими как движение крошечных бильярдных шаров. К сожалению эта точка зрения имеет много недостатков, в том числе проблемы с значением «быть знакомым». То, что «знакомо» физик, может быть незнаком инженеру. Кроме того, многие научные объяснения связывают знакомые явления с незнакомой теорией. Пожалуй, нет ничего более привычного для нас, чем утренняя пробка на дороге на работу. Однако события, подобные этому, требуют очень сложного моделирования, объяснение которого далеко не знакомо.

Заметим, что точка зрения знакомства так же имеет трудность и так называемый «почему регресс». Это означает, что понимает только то, что знакомо, и только то, что знакомо, может объяснить. Отсюда следует, что эта точка зрения не позволяет объяснить то, что само непонятно. Но исследователи заинтересованы в том, чтобы позволить это: они хотят иметь возможность объяснить явления даже в тех случаях, когда они не понимают теорий и моделей, задействованных в объяснении.

Возможно, более изощренный способ понимания состоит в указании причин, вводящих данное явление. Эта форма, оторывая, принимает наиболее причинно-следственные связи.

счета объяснения. Наш первый вопрос о том, почему оно разбилось, может быть полностью понято, если мы объясним все причины, к которым приводят к этому сценарию или, как любят говорить философы наук и, явление находится в причинно-следственной связи. Таким образом, когда в окно бросают камень, то существует ряд причинно-следственных связей, к которым в конечном итоге приводят к эффекту: камень, брошенный моей рукой, летит по воздуху и в конце концов тянется к окну, к которому наконец разбивается.

На мой взгляд, ни одна из этих форм понимания не подходит для компьютерера. симуляции. В некоторых случаях компьютерное моделирование не дает исследователям никакой информации. Причин полагаются на их результаты. В других сведения к знакомому просто невозможно, если принять во внимание больше количественно заданных неопределенностей и неуклюжесть имитационной модели. Нелепо думать, что как-то о редукции ионизм более сложных симуляций к менее сложным — и, возможно, к более знакомому — даже возможно. Наконец, возможность выявления причинно-следственных связей и указать им на симуляцию кажется надуманным. Как я буду обсуждать позже в главе 6, причинно-следственная связь в компьютерном моделировании — это скорее отрывая исследователяская программа, чем исходное предположение.

Помимо прежних интерпретаций понимания, существует еще одна форма, это оканчивается всяма многообещающим для компьютерного моделирования. Эта интерпретация известна как точка зрения «унификации», потому что она предполагает, что понимание состоит из видения, как то, что было объяснено, вписывается в единое целое.

Для сторонников унификации понимание приходит от видения связей и общего. закономерности в том, что первоначально не казалось глубокими или независимыми фактами. «Видение» здесь воспринимается как когнитивный маневр по сокращению объясненных результатов или реального мира. явлений — в пользу естественных оснований, такую как наш корпус научных убеждений. Которые философы наук и приписывают эту точку зрения на понимание, хотя и не обязательно унификации ионизму. Герхард Шурц и Карел Ламберта, «чтобы понять феномен Р, нужно знать, как Р вписывается в чью-то базовые знания» (Шурц и Ламберта, 1994, 66), а Карел Элгин утверждает, что «понимание — это, прежде всего, когнитивное отношение к достаточному всеобъемлющему, связанный массив информации» (Карел Элгин 2007, 35). Предлагаемое сокращение сторонников унификации имеет несколько эпистемологических преимуществ, таких как результаты становятся более прозрачными для исследователей, к которым, в свою очередь, получают более целостную картину природы, а также укрепляют и систематизируют наш корпус научных убеждений. В целом, говорят сторонники объединения, мир становится более простым (Friedman, 1974; Kitcher, 1981, 1989).

В (Duran, 2017) я утверждаю, что когда результаты компьютерного моделирования понимаются посредством объяснения, выполняется аналогичный когнитивный маневр. Исследователи могут включить результаты моделирования в более крупную естественную систему, тем самым уменьшая количество независимых результатов, ищущих объяснение. Таким образом, объясняя, почему возникла паника на рис. 1.3, исследователи расширяют свои научные знания, включая случай, полученный из ньютоновской механики.

⁶ Анализ «глубины» и «независимости» факторов см. в (Barnes 1994) и (Fahrbach 2005).

Случай компьютерного моделирования особенно интересен тем, что фактически выполняется в два этапа. Во-первых, результаты выключаются в совокупность научных убеждений. связанные с имитационной моделью а во-вторых, они включены в наше большее научное убеждений.

Позвольте мне проиллюстрировать этот последний пункт объяснением появления шипов. на рисунке 1.3. Объясняя, почему шипы появляются на визуализации, исследователи указывают на причины образования. Я полагаю, что такое объяснение возможно, потому что существует четкое определенная структура паттерна, которую исследователи выводят из описания спайков из имитационной модели (Duran 2017). Таким образом, понимание спайков достигается путем включения их в более широкий корпус научных данных. убеждения, что является имитационной моделью. То есть исследователи понимают, как результаты соответствуют в, вносят свой вклад и оправдывают ссылкой на теоретическую основу, постулированную имитационными моделями. Именно поэтому исследователи могут объяснить появление всплесков, а также их нисходящий тренд: и то, и другое может быть теоретическим унифицированы имитационной моделью. Кроме того, поскольку моделирование модели зависит от хорошо зарекомендовавших себя научных знаний — в данном случае ньютоновой механики — исследователи могут увидеть результаты моделирования таким образом, что, что теперь им хорошо известно, то есть объединено с общим корпусом установленных научных представлений, касающихся механики и двух тел.

До сих пор стандартный образ стороннего наблюдателя применим к компьютерному моделированию. Но я считаю, что мы можем расширить этот образ, показав, как понимание приводит к также включению в себя практический измерение. С точки зрения симуляционных исследований, понимание результатов также включает в себя понимание технических трудностей, стоящих перед программированием более сложных, быстрых и реалистичных симуляций, интерпретацию результатов верификации и проверки и передачу информации, необходимой для внутреннего использования механизмов имитации. Другими словами, понимание результатов также дает обратную связь с имитационной моделью, помогая улучшить компьютерное моделирование. Например, объясняя и понимая причины отрывов всплесков и имеющих тенденцию к снижению исследователи знают о существовании и имеют средства для устранения ошибок округления, ошибок дискретизации, разрешения сетки и т. д. В исследованиях компьютерного моделирования исследователи хотят объяснить, потому что они также хотят понять и улучшить свои симуляции, ровно настолько, насколько они хотят понять явления реального мира (Duran 2017).

Последний вопрос, который нам нужно здесь затронуть, — это то, как понимать явления реального мира посредством объяснения результатов компьютерного моделирования. Как я предположил в начале этого раздела Вейрих и Крех постулировали своей главной целью объяснение явлений реального мира с помощью компьютерного моделирования. Оба автора правильно полагают, что использование компьютерных симуляций в большом числе случаев оправдано, поскольку они обеспечивают понимание некоторых аспектов мира. Таким образом, вопрос заключается в том, можем ли мы понять явления реального мира, объясняя результаты компьютерного моделирования? Я думаю, что мы можем ответить на этот вопрос положительно. Мы знаем, что визуализация результатов моделирования представляет собой поведение реального спутника в условиях приливного стресса. Это означает, что результаты симуляции, связанная с выбросами, представляет и, таким образом, может быть приписана поведению реального спутника. В этом смысле и вслед за Элгином в этом вопросе (2007; 2009), существует право — посредством представления и присвоения — результатов

имитация поведения реального спутника. Именно благодаря этому праву мы можем связать наше понимание результатов моделирования с нашим пониманием поведения реального спутника. Это можно сделать с помощью практической способности, которая предполагает понимание чего-либо. Как убедительное утверждение Элгин, понимающий обладает способностью использовать имеющиеся в его распоряжении информационные практические цели (Catherine Elgin 2007, 35).

В нашем случае исследователи могли реально построить спутник, указанный в моделировании, и вывести его в космос.

5.1.2 Инструмент прогнозирования

Когда философы сосредоточили свое внимание на научном объяснении, они также обратились к научному предсказанию. На самом деле, Карл Гемпель и Пауль Оппенгейм, два основных философа, которые систематизировали и определили повестку дня философских исследований по научному объяснению считали, что предсказание — это обратная сторона одной медали. Эти идеи процветали примерно в 1948 году с их основополагающей работой «Исследования логики и объяснения» (Гемпель и Оппенгейм, 1948) и продолжались до упадка логического эмпиризма в 1969 году на симпозиуме по структурам теорий в Урбане, Иллинойс (Suppe 1977).

Несмотря на совместное рождение, с тех пор научное объяснение и предсказание пошли в разных направлениях. В то время как исследования в области научного объяснения значительно расширились, создав различные школы мысли, труднее найти философов, занимающихся предсказаниями. Интересно отметить, что когда дело доходит до философских исследований компьютерных симуляций, гораздо больше усилий было направлено на изучение предсказаний и гораздо меньше на научное объяснение. Это асимметрично можно объяснить практикой компьютерного моделирования в научном и инженерном контексте. Исследователи больше интересуются предсказанием будущих состояний системы, а не объяснение того, почему такие состояния получаются. В начале этой главы мы подробно обсудили научное объяснение. Настало время обратить внимание на некоторые основные принципы научного прогнозирования в контексте компьютерного моделирования. Но сначала пример, иллюстрирующий предсказания в науке и помогающий ввести основную терминологию.

Прекрасным случаем в истории наук являются предсказания комет, сделанные Эдмондом Галлеем. Общее представление о кометах во времена Галлея заключалось в том, что они были таинственными астрономическими нарушениями, непредсказуемо движущимися по небу. Хотя Галлей сделал несколько точных ретродиктивных предсказаний в прошлом, установив, что кометы появившиеся в 1531, 1607 и 1682 годах, были проявлениями одних и тех же явлений, его предиктивный предсказание в будущее. Следующие появления кометы были настолько удачны, подтверждая тем самым установившееся научное мнение того времени. На самом деле, он предсказал, что комета снова появится в небе к 1758 году, на год раньше своего фактического появления.

Работа Алексиаса Клеро, видного ньютоналиста, состояла в том, что бы правильно пострадиговать следующее появление кометы к оторая должна была достигь своего перигелия к 1759 году. Клеро основывал свои пострадигов на расчетах, к оторые включали силы неизвестные в то время, но имевшие смысл в рамках ньютоновской теории. Также силы в основном относились к действиям и влияниям алексиаса планет – вспомним, что Уран был открыт в 1781 г., а Нептун открыт авался неизвестным до 1846 г. теория как наиболее адекватный способ описания мира природы Борьба между фракциями привела многих физиков к тому, что сначала они отвергли расчеты Клеро, а многие другие с некоторой радостью предвидели провал ньютоновской теории. История заканчивается расчетами Клеро, правильно предсказывающими следующее появление кометы Галлея – несмотря на некоторые упрощения в более высоких терминах его уравнения – и ньютоновским взглядом на мир в подвляющем большинстве случаев превосходящим менее адекватные теории.

Пример кометы Галлея ясно показывает важность предсказания для научных исследований, а в данном конкретном случае и для подтверждения ньютоновской теории. Успешные предсказания ценны тем, что они выходят за рамки того, что известно исследователям непосредственно и очевидно, представляя «скрытую» информацию о явлениях эмпирических систем⁷.

Двумя важными характеристиками предсказания являются временное измерение и точность предсказания. Распространенной ошибкой является предположение, что предсказания — это высказывание чего-то значимого о будущем (т. е. пострадигматический), а не о прошлом (т. е. ретродиктивный). Обычно это происходит случайно, когда ретродиктивный ошибочный смешивается с научными свидетельствами того, что происходит. Таким образом, говорят, что Галлей нашел доказательство того, что кометы появившиеся в 1531, 1607 и 1682 годах, были одними и теми же, но не делал ретродиктивный. Хотя свидетельства и предсказание в некотором случае могут быть связаны это все же два отдельных понятия. Ретродиктивный, как и пострадигматический, являются частью логических теорий, из того, что, независимо от временных ограничений. Доказательство, с другой стороны служат либо для поддержки, либо для опровержения научной теории. В этом смысле ретродиктивный и пострадигматический являются проявлением одного и того же явления, а именно предсказания. Таким образом, правильно будет сказать, что Галлей предсказал три появления кометы до своего наблюдения в 1682 году, точно так же, как Клеро предсказал ее следующее появление в 1759 году, потому что он провел расчеты используя теорию — форму теоретического следствия.

Язык предсказания используется для описания декларативных утверждений о прошлом, а также о будущих событиях, сделанных в свете теории, и поэтому мы будем использовать его здесь. На самом деле временное измерение влечет за собой эпистемологический компонент: «предсказывать» — значит

⁷ Между прочим, эти же особенности делают предсказание рискованным по своей сути, поскольку доступ к скрытой информации обычно не зависит от общестандартов в данном сообществе, следовательно, потенциально интрузивный. Итак, один из способов избежать проблем интрузивности — это работать с конвергентными прогнозами. То есть, благодаря тому, что в разных областях исследований все предсказывают сходные результаты наша уверенность в предсказании неизбежно должна возрастать. Это то, что философ Хизер Дуглас называет конвергентной объективностью (Douglas 2009, 120). Однако мы должны иметь в виду, что существуют и другие формы объективности. Здесь мы собираемся избежать вопросов субъективности и объективности, поскольку они заслуживают отдельного изучения. Для дальнейшего ссылок читатель может обратиться к ((Daston and Galison 2007) (Lloyd 1995) и, конечно же, (Douglas 2009)).

делать заявления о вещах, которые еще неизвестны не обязательно но события, которые еще не произошли» (Barrett and Stanford 2006, 586). Другими словами, предсказание — это «предсказание» события прошлого, настоящего или будущего. Понимаемое таким образом предсказание спрашивает: «Что говорит нам теория?», «Какое знание является новым?» В нашем случае ответ достаточно очевиден: очредное появление кометы Галлея.

С этим временным измерением тесно связан вопрос: «Насколько хорошо теория предсказывает реальный наблюдаемый результат?» Это главный вопрос, который дает нам представление о верности характеристик прогнозирования, относящейся к нашему обсуждению а именно о точности прогнозов.

В предыдущей главе мы обсуждали точность как набор измерений, которые обеспечивают окончательное значение, близкое к истинному значению измеряемой величины. Например, ядро кометы Галлея имеет длину около 15 километров, ширину 8 километров и толщину примерно 8 километров — довольно маленькое ядро для огромных размеров комы. Масса комы так же относительно невелика, по оценкам, $2,2 \times 10^{14}$ кг. Астрономы рассчитали среднюю плотность до $0,6 \text{ г/см}^3$, что указывает на то, что он состоит из большого количества мелких кусочков, свободно соединенных вместе. Имея под рукой эту информацию наряду с расчетами траектории, астрономы могут точно предсказать, что комета Галлея видна невооруженным глазом с периодом в 76 лет.

Точность научных прогнозов зависит от сочетания характера события, адекватности наших теорий и текущего состояния наших технологий. Хотя верно то, что с помощью компьютеров мы можем предсказать с более высокой степенью точности, чему Клеро, когда комета Галлея появится в небе в следующий раз, предсказания возможны потому что траектория кометы может быть адекватно описана с помощью ньютоновской механики.

Теперь во многих случаях трудно получить точные прогнозы. Это так из-за природы явлений, что бы предсказать. Действительно, существует множество событий и явлений, для которых мы можем предсказать их поведение только в заданном диапазоне вероятности возникновения. Простой пример следующий. Предположим, я прошу вас выбрать карту и положить ее на стол лицом вниз. Затем я должен предсказать его масть (т.е. «червы», «бубны», «трефы» или «пики»). Теория говорит, что у меня есть 1 шанс из 4 быть правым. Теория не подразумевает, как угадать выгоду к тому, положили лицом вниз, а скорее то, что вероятность того, что я прав, равна 1/4. Хотя это строго не считается предсказанием, оно говорит нам кое-что о точности предсказания.

Еще одним хорошим примером неточных предсказаний являются так называемые хаотические системы. Это системы очень чувствительные к начальным условиям, в которых небольшие ошибки в вычислениях могут быстро перерасти в большие ошибки прогнозирования. Это означает, что определенные прогнозы невозможны после заданной точки расчета. Тот факт, что хаотические системы проходят через определенную точку, делает предсказания трудными, по сути, неверными.

⁸ Клеро учасствовал в несколько их вычислениях орбитального периода кометы Галлея. Для одного из первых расчетов он разделил кометную орбиту на три части. Во-первых, от 0° до 90° эксцентриситетской аномалии, первый квадрант эллипса от перигелия, который комета занимает 7 лет, чтобы пройти. Во-вторых, для перехода, более верхней половины орбиты, который комета от 90° до 270° требовалось более 60 лет. В-третьих, от 270° , занимает последний квадрант эллипса, до 360° , на прохождение которого ушло около 7 лет. Расчеты Клеро оказались в разное время ошибочными (Wilson 1993).

возможное в практическом смысле имеет важные последствия для научных исследований. Стандартным примером хаотической системы являются атмосферные условия. В прогнозировании погоды очень трудно делать долгосрочные прогнозы из-за присущей системе сложности, которая позволяет делать прогнозы только до определенного момента. Вот почему поведение погоды считается хаотическим, малейшие изменения начальных условий делают долгосрочные прогнозы неосуществимыми, если не вообще невозможными.

Давайте теперь обсудим, как прогнозирование работает в компьютерном моделировании, на примере двух моделей эпидемической вспышки в Италии. Первая симуляция представляет собой стохастическую модель на основе агентов, тогда как вторая симуляция представляет собой структурированную популяционную модель, известную как Глобальная эпидемия и мобильность —GLEAM. Агентная модель включает явное представление итальянского населения с помощью подробных данных о социальном-демографическом структуре. Кроме того, для определения вероятности поездок из одного муниципалитета в другой в модели используется стандартная гравитационная модель в теории транспорта. Динамика эпидемической передачи основана на разделении групп по подтипу заболеваний (ГПЗ) на основе стохастических моделей, которые объединяют восприимчивые, латентные, бессимптомные инфекции и инфекции с симптомами (Ajelli et al. 2010, 5). Марко Аджелли и его команда, от ветственных за разработку и программирование этих симуляций, определяют модель на основе агентов как «стохастическую пространственно-явную имитационную модель с дискретным временем, в которой агенты представляют человеческие личности [...] Один из ключевых особенностей модели является характеристика сетевой онтологии между индивидами на основе реалистической модели социального-демографического структуры итальянского населения» (4).

С другой стороны моделирование GLeaM интегрирует базис данных о населении с высоким разрешением — оценивая население с разрешением, заданным ячейками 15 x 15 угловых минут — с инфраструктурой воздушного транспорта и моделями мобильности на коротких расстояниях. Многие стандартные симуляционные GLeaM состоят из трех слоев данных. Первый слой, где население и мобильность позволяют разделить мир на географические регионы. Этот раздел определяет уровень, сеть субпопуляций, где взаимосвязь представляет собой поток людей через транспортную инфраструктуру и общие модели мобильности. Наконец, на этом второй слой накладывается слой эпидемии, который определяет внутри каждой субпопуляции динамику заболевания (Balcan et al. 2009). В исследовании GLeaM так же представляет собой раздел, подсетевой, где каждая ячейка назначается ближайший аэропорт. Сеть субпопуляций использует данные географической переписи, а уровни мобильности получают данные из различных баз данных, включая базу данных Международной ассоциации воздушного транспорта, содержащую список аэропортов по всему миру, связанных прямыми рейсами.

Как и ожидалось, у моделирования на основе агентов и GLeaM есть свои преимущества и недостатки. Что касается модели GLeaM, подробные сетевые компьютерной мобильности дают точное описание каналов транспорта, доступных для распространения болезни. Однако точные оценки воздействия болезни на более локальном уровне получить сложно из-за низкого уровня детализации, содержащегося в этой модели. Что касается агентного подхода, хотя он очень детализирован в отношении структуры домохозяйств, школ, больниц и т. д., он страдает от сбора наборов данных с высокой степенью достоверности и изобилием регионов мира (Ajelli et al.

др. 2010, 12). Несмотря на то, что каждая симуляция предлагает разные функции, таким образом, влияет на их соответствие текущим условиям роста атак и болезней, Аджелли и его команда отмечают, что существует устойчивая сходимость результатов, которая обеспечивает уверенность в каждом из прогнозов симуляций. Неоднородность транспортной сети, обеспечиваемая моделью GLeaM, например, делает возможным точное предсказание пространственно-временного распространения болезни ГПЗ в глобальном масштабе. С другой стороны, явное предствление отдельных лиц в агентной модели облегчает точные прогнозы распространения эпидемии в более локальном масштабе.

Если говорить более конкретно о прогнозах, то разница в амплитудах пиков варьируется в зависимости от нескольких факторов, в основном на основе значений репродуктивного числа. Для агентной модели с тем же репродуктивным коэффициентом средний размер эпидемии снижается до 25 %. На другом конце эпидемической вспышки и размер эпидемии, предсказанный GLeaM, составляет 56 % населения для репродуктивного коэффициента $R_0 = 2,3$, в то время как он составляет 40 % для основанного на агенте. Исследования наблюдали абсолютную разницу около 10 % для $R_0 = 1,5$ и около 7 % для $R_0 = 2,3$. Были также сделаны прогнозы для коэффициента воспроизводства $R_0 = 1,9$, демонстрируя аналогичное поведение среднего размера эпидемии, предсказанное обоими моделями.

Аджелли и др. эти прогнозы выводят достаточные выводы, поскольку они видят конвергенцию средних размеров эпидемии. Команда, однако, не может оценить, как ой из двух прогнозов лучше. Высокий уровень реалистичности агентной модели в принципе должен говорить в пользу точности прогноза. Но, к сожалению, такая реалистичная модель не свободна от модельных допущений. Действительно, чтобы определить вероятность поездок из одного муниципалитета в другой, Ajelli et al. реализуют общую гравитационную модель, используя теорию транспорта, а также принять стандартную функциональную форму для расстояния, несмотря на то, что другие функциональные формы также как экзотические затухание, также могут быть рассмотрены (3). Другое предположение связано с однородным смешением в домохозяйствах, школах и на рабочих местах, в то время как предполагается, что случайные контакты в общей популяции явно зависят от расстояния (3). Несмотря на то, что оба допущения вполне разумны, они неизбежно влияют на прогноз, следовательно, на основания для предпочтения прогноза агентной модели перед GLeaM. Точно так же предсказание модели структурированной метапопуляции столь же трудно оценить, именно из-за отсутствия в ней реализма. «Правильное значение, — говорят Аджелли и др., — должно находится между предсказаниями моделей, что подтверждается тем фактом, что разница между моделями уменьшается по мере увеличения R_0 , а модели сходятся к одному и тому же значению для атаки. ставка» (8).

⁹ В эпидемиологии репродуктивный коэффициент — или репродуктивное число — представляет собой количество новых случаев, от одного инфицированного человека вызывает в среднем течение инфекционного периода в неинфицированной популяции. Таким образом, при $R_0 < 1$ инфекционная вспышка в конечном счете затухнет, тогда как при $R_0 > 1$ инфекция сможет распространиться и заразить население. Чем больше число, тем сложнее будет контролировать эпидемию. Таким образом, метрика помогает определить скорость, с которой инфекционное заболевание может распространяться среди здорового населения. В случае обеих симуляций авторы сообщают, что при большем R_0 локальные эпидемии стихают более распространёнными во всех слоях населения, что делает структуру населения все менее и менее актуальной.

Здесь мы должны подчеркнуть принципиальное различие между предсказаниями моделей Аджелли и др. и Клеро: в то время как предсказания позже могут быть подтверждены эмпирически, предсказания компьютерного моделирования не мог. На каком же основании Аджелли и его команда утверждают, что это точные предсказания? Их ответ состоит в том, что обычно ставятся на том, что хорошее соглашение, достигнутое результатом симуляций предствляют собой причины говорящие в пользу точной предсказания.¹⁰ Безусловно, тот факт, что оба моделирования сами по себе являются хорошим предствлением целевой системы также способствует уверенности исследований. Но именно сходимость результатов прочно обосновывает уверенность в точных предсказаниях.

Такая точка зрения не лишена веских оснований. Сходимость результатов говорит в пользу моделирования, а также точности прогноза. В предыдущей главе мы видели, как можно использовать методы верификации и валидации для предствления надежности моделирования и, таким образом, помочь исследованиям доверять своим результатам. Интересный поворот, введенный Аджелли и его командой, заключается в том, что валидация проводится не на основе эмпирических данных, а скорее на основе другого компьютерного моделирования.¹¹ Это означает, что результаты второго моделирования работают как подтверждение эмпире результатов другого симуляция – и наоборот. Это довольно распространенная практика среди исследований. Интенсивно используя компьютерное моделирование и их целевых систем отсутствуют эмпирические данные для проверки. Иными словами, надежность компьютерных симуляций используется для обеспечения оснований доверия к их результатам, которые, в условиях конвергенции служат, в свою очередь, основанием верить в точность всякого рода предсказаний.

Сказав это, прогнозическая практика должна быть смягчена некоторыми здоровыми предупреждениями принципами. Как известно любому исследователю модели основаны на нашем предствлении о том, как устроен реальный мир. Хотя в орпус научных и инженерных убеждений чрезвычайно успешна, она отнюдь не без ошибок. Именно поэтому валидация сопоставление с эмпирическими данными является хорошей и необходимой практикой в научных и инженерных исследованиях. Это практически заставляет исследователей «проверить» свои результаты в сравнении с остальным миром и найти обходной путь в случае несоответствия. В данном конкретном случае Аджелли и его команда рассматривает сходимость результатов как положительный признак — хотя и не подтверждающий пример — точного предсказания. Так что многое, считая правильным. Однако, как они также объясняют в своей статье, предсказание путем сходимости результатов предполагает наличие общей основы в рамках моделирования, в рамках которого выполняется моделирование. расположены То есть такая информация, как параметризация, интеграция данных, начальные

¹⁰ Этот ответ вызывает вопрос о том, что такое «хорошее согласие» результатов компьютерного моделирования.

Аджелли и др. не могут найти, как следует понимать это понятие. Мы могли бы предположить, что у нас есть хорошее согласие, когда все результаты выпадают в заданное распределение (например, нормальное распределение).

Это, конечно, требует уточнения. Как мы узнали из исследований по эпистемологии

эксперимент, совпадение результатов разных методов дает уверенность не только в результатах, но также и в способности методов давать достоверные результаты (Франклин, 1986, глава 6).

Вопрос в том, в какой степени мы можем рассматривать агентное моделирование и GLeaM как два разных техник.

¹¹ Под этим подразумеваю, что результаты любого компьютерного моделирования в принципе не могут быть получены эмпирически подтверждено. Поскольку у каждого компьютерное моделирование реализует подмодели, существует вероятность того, что некоторые из них подтверждены эмпирическим путем.

и граничные условия, и даже многие используемые приближения должны быть общими среди исследователей, в противном случае Ajelli et al. спорит, исследователи не смогли бы исключить нежелательные эффекты такие как те, которые возникают в результате допущений моделирования.

Более тревожной является возможность того, что результаты любых симуляций сходятся истинно. Чтобы избежать этого, исследователи пытаются сравнить результаты к оторым отсутствует общий основный симуляций. То есть компьютерное моделирование должно быть дифференцированными с точки зрения модельных допущений, начальных условий, целевых систем, параметров, калибровки и т. д. Это подход, выбранный М. Элизабет Халло Ран и ее командой, как сообщает Ajelli et. др. Хэллоран сравнивает результаты трех индивидуальных модели пандемического штамма гриппа с различными предположениями и исходные данные, один на уровне описания города и два на уровне описания страны (Halloran et al. 2008).

Несмотря на многочисленные предупреждающие меры сравнение различных моделей и результатов, как правило, представляет собой сложную задачу. Аджели и др. отмечают, что сравнение, проведенное Хэллораном и др., ограничено допущениями к каждой модели, а также имеющимися смоделированными сценариями. В этом отношении они не только явно не определяют общий набор параметров, начальных условий и приближения, общие для всех моделей. Низкая передача сценарий, предложенный Хэллораном, например, сравнивается в каждой модели с использованием различных значений репродуктивного числа с риском невозможности дисконтирования. влияние этой разницы на полученные результаты Как следствие, сходимость результатов является истинным, как и любое предсказание, сделанное с помощью моделирования.

5.1.3 Исследователи скептически

Для нас исследователи скептически несут характер исследователей скептически и с целью получения существенных выводов о явлениях без обращения к ним, ни полагаются на теорию ак их явлений. Таким образом, исследователи скептически имеют две цели. С одной стороны она призвана вызвать наблюдаемые изменения в мире; с другой, он служит испытательным полигоном для новых, еще не устоявшихся концепций¹².

Итак, первый вопрос, который приходит на ум, — почему важно разделять теорию и эксперимент? Один из очевидных ответов состоит в том, что обычно азать, что любой данная теория может быть не в соответствии предоставить всю соответствующую информацию о данное явление. Хорошим примером этого является броуновское движение. В 1827 г. ботаник Роберт Браун заметил, что частицы застрявшие в полостях внутри пыльцевых зерен в воде будут двигаться. Ни Браун, ни кто-либо в то время не мог определить ни объяснить механизм вызвавшие такое движение. Лишь в 1905 г.

¹² Исследователи скептически — одна из тех тем, которые философы уделяют мало внимания, несмотря на то, что они занимают центральное место в научной и инженерной деятельности. К счастью есть несколько отличных работ, посвященных этим вопросам. Несколько примеров, которые я буду обсуждать здесь, приходят из работ Фридриха Штайнле об исследователях экспериментов (Steinle 1997), Акселя Гельфerta об исследователях модели (Gelfert 2016), а по исследователях компьютерному моделированию нас есть Viola Schi affonati (Schi affonati 2016) и Гию Гарсия и Мариса Веласко (García and Velasco 2013). Здесь, У меня будет несколько иной подход, чем у этих авторов.

Альберт Эйнштейн опубликовал статью в журнале в мельчайших подробностях объяснялось, как движение, которое Браун заметил, что это результат переноса пылицыотдельными водными молекулами

Другая важная причина от деления теории от эксперимента заключается в том, что во многих случаях эксперименты используются для развенчания данной теории. Например, Август Вайсман провел эксперимент, в котором он удалял хвосты белым мышам несколько раз в течение пяти поколений только для того, чтобы показать, что ни одна мышь не рождается без хвоста или хвоста. Даже с более короткими хвостами просто потому, что они их обрезали. Интерес Вейсмана состоял в том, что быстрое изменение конца ламакризма и теории наследования приобретенных признаков показывая, как это не могло объяснить поделение мышей с короткими хвостами или без хвостов.

Предложив важность независимого экспериментирования для нашего общего знания о мире, можем ли мы теперь придать смысл идее исследования с их стратегий в лабораторных и компьютерных симуляциях? Чтобы ответить на этот вопрос, нам нужно вернуться немного назад, как по времени, так и по количеству страниц, и кратко просмотрим некоторые из них. В главе 3 я упоминал логический эмпирик и как группа философов и ученых, заинтересованных в понимании понятия и следствий научных теорий. Как вскоре выяснилось, это настолько же знаковый термин, насколько и уклончивое понятие. В частности, они обнаруживают, что теория и эксперимент более тесно переплетены, чем предполагалось изначально.

Одной из основных позиций логического эмпирика было отношение к экспериментам не столько как философская проблема сама по себе, как вспомогательная методология понимания теории. Критики воспользовались этой позицией, чтобы утверждать основные идеалы логического эмпирика. Для многих из этих критиков эксперименты и эксперименты были проблемой. Подлинную философскую ценность и должны рассматриваться как таковые. Один особенно интересный моментом была объективность данных наблюдений и то, как этот вопрос относится к теории. Проблема может быть сформулирована следующим образом: в своих экспериментах исследователи взаимодействуют, наблюдают и манипулируют явлениями реального мира, а также собирают данные для дальнейшего анализа, как это делали Вейсманн, Ламарк и Браун. По-своему много лет назад. Таким образом, проблема состоит в том, что бы предопределил, являются ли наблюдения объективными¹³ или они зависят от теоретического подготок и исследования. знание – проблема, известная как «нагруженность теорией».

Позиции по этому вопросу разделились. Во многих случаях исследователи не могли гарантировать, что экспериментирование дает важные открытия о явлениях без приходится как-то обращаться к теории. Причина этого в том, что каждый исследователь подходит к миру с некоторыми базовыми знаниями. Даже Браун, наблюдая движение частиц в воде, приближался к феномену с умом ученого. Неоткрытые критики логических эмпириков, в том числе Томас Кун, Норвуд Хэнсон и Пол Фейерабенд среди прочих были весьма подозрительны от носителя идей объективности и наблюдательных данных. К ним исследователи не могут реально наблюдать, собирать и использовать лабораторные данные, не совершая себя к данной теории.

Чтобы проиллюстрировать масштаб проблемы возьмем конкретный случай из истории астрономии. Ранние астрономы наблюдали и имели очень простые инструменты для наблюдений.

¹³

Это понятие используется в смысле независимости от любого исследования, инструмента, метода или теории.

служить звездам. Одно из первых важных наблюдений, сделанных Галилео Галилеем, кроме количественных спутников, вращающихся вокруг Юпитера – было число Сатурна в 1610 году. Назад затем он неправильно предположил, что Сатурн был большой планетой с лунами на каждой стороне. В течение следующих 50 лет астрономы продолжали рисовать Сатурн с двумя спутниками, или «руками», выходящими из шеста. Лишь в 1959 году Христиан Гюйгенс правильно сделал вывод, что «луны» и «руки» на самом деле были системой колец. Сатурн. Это, конечно, стало возможным благодаря улучшенной оптике телескопа. Смысл заключается в том, что до фактического открытия системы колец астрономы смотрели на Сатурн так, как им его изобразил Галилей¹⁴.

Пример показывает несколько проблем, связанных с исследованием систем с ратегиями, и проблему перегруженности теорией. Это показывает, что наблюдение не всегда является самым надежным источником знаний просто потому, что инструменты могут быть недостаточными мощными – или ими манипулируют – что обычно на самом деле предоставляет достоверную информацию о мире. Это также показывает, что ожидания исследования являются основными источниками влияния на их отчеты. Это особенно верно для случаев, когда «орган» устроивших рабочих мест по заданному вопросу. Галилей – пример того, как иногда авторитет не подвергается сомнению.

Сочетание этих двух задач дается из исторических фактов. В начале 1920-х между Эрнестом Резерфордом и Гансом Петтерссоном обрисовывались протонные акцименты, как углерод. и кремний, подвергавшийся бомбардировке альфа-частицами. Оба исследования провели аналогичные эксперименты в котловых они смогли наблюдать мерцающий экран для слабых вспышек, вызванных ударами частиц. В то время как лаборатория Петтерссона сообщила о положительном наблюдении, лаборатория Резерфорда сообщила, что не наблюдала ни одной из ожидаемых вспышек от углерода или кремния. Джеймс Чедвик, коллега Резерфорда, посетил лабораторию Петтерссона, чтобы увидеть их данные и поработать над возможными ошибками в их собственном подходе. Помощник Петтерссона показывали ему результаты Чедвика манипуляций с оборудованием без ведома кого-либо. Манипуляций Чедвика изменили нормальные условия работы прибора, гарантируя, что никакие частицы не могли попасть на экран. Несмотря на это, помощник и Петтерссона по-прежнему сообщили, что видели вспышки с частицей, очень близкой к частице, о которой сообщалось в предыдущих условиях. После этих событий данные Петтерссона были бесспорно дискредитированы (Stuewer 1985, 284–288).

Нам больше интересно, что пример показывает, что наблюдения исследования сформированы обучением и теорией, в которой они – их руководителем и соратником – ставят свои эксперименты. В связи с этим возникает следующий вопрос, находящийся в сути нашего исследования поисковых стратегий. Если наблюдение – и другие формы экспериментирования – окращены теоретическими ожиданиями, в каком смысле весь процесс экспериментирования – от постановки эксперимента до оценки данных, включая манипулирование инструментами и явлениями – генерировать выводы о явлениях, не обращаясь к теории?

¹⁴ См. (Брэксли Ламберт, 2001 г.) и (Ван Хелден, 1974 г.).

Ч тобыот вет ить наэтот вопрос, нам нужно уточнить понятие «нагруженность теорией»¹⁵. Фридрих Штейнле, философ, посвятивший себя изучению многих из этих вопросов, утверждает, что окончательная теоретическая нагруженность, такая как та, изложенное здесь, не отражает сложность и разнообразия научных экспериментирование (Steinle 1997, 2002). По его мнению, нам необходимо различать два типа экспериментов, а именно эксперименты «управляемые теорией», и «исследовательские» эксперименты. По его мнению, эксперименты, основанные на теории, демонстрируют более или менее те же особенности, которые описаны для наблюдательных экспериментов в главе 3. Эксперименты автятся и проводятся с «хорошо построенной теорией, от самой первой идеи, через конкретный дизайн и исполнение до оценки» (Steinle 1997, 69). Теперь, чтобы сказать, что эксперимент «управляется теорией», подразумевается, по крайней мере, три различные значения. Это может означать, что ожидания от носителя его результатов падают в рамках, предусмотренных теорией; это может означать, что конструкция эксперимента более или менее зависит от теории; и это может означать, что инструменты используются для эксперимента, сильно зависят от теории. Так поняв, эксперименты, основанные на теории, служат несколькими конкретным целям, так как они определяют параметры и использование теоретических экспериментальных инструментов для поиска новых эффектов. Напротив, исследовательские эксперименты используют стратегий, характеризующихся отсутствием теоретического руководства. Точнее, по словам Штейнле, ни один из вышеупомянутых значений, придаваемых теоретическим экспериментам, не носит характера поиска экспериментов. Таким образом, исследовательский эксперимент позволяет получить данные о явлениях, которые не апеллируют к структуре, которую обеспечивает теория, ни к теории, используемой для планирования эксперимента, ни к теории, встроенной в инструменты, которые используются. Другими словами, эксперимент и его результаты предоставляют релевантную информацию о явлениях на их собственном счету.

Одна серьезная проблема с этой точкой зрения заключается в отсуствии сложных предствление о теории на месте, а также отсуствие понимания уровней теории, участвующие в работе, проведении и анализе экспериментальных результатов, которые могли бы помогать охарактеризовать эти стратегий соответствующим образом.¹⁶ На самом деле Пио Гарсия и Мариса Веласко отмечают, что для защиты от ошибок из интерпретаций Штейнле мы должны сначала быть в состоянии объяснить различные уровни теории, задействованные в эксперименте,¹⁷ как а также определить, на каком из этих уровней теоретическое руководство наиболее актуально (Гарсия и Веласко, 2013 г.). В общем, не существует единой теории, направляющей эксперимент, и неясно, как набор теорий, участвующих в эксперименте, делает его теорией ведомый.

В этом контексте идея о том, что эксперименты могут давать результаты явлениям строго без обращения к теории, начинается как трудная для обоснования. Мы могли бы, однако, отметить, что на более общей, возможно, более слабой интерпретации того, что такое исследованиеские стратегии, и контекста, в котором они применяются. Тогда мы могли бы

¹⁵ Читатель должен знать, что в литературном «теории» есть много тонкостей.

грудность», которую мы собираемся здесь рассмотреть. Хороший источник для обсуждения см. (Hanson 1958) и (Кун, 1962).

¹⁶ Эти идеи можно найти в (García and Velasco 2013, 106).

¹⁷ Ян Хакинг предлагает первый подход к различным типам и уровням теории, связанным с экспериментом в (Hacking 1992).

Исследоватьские истратегии следуют от личатых от носительской независимостью прочной теоретической базы ограничений и их способность генерировать важные выводы к оторые не могут быть сформулированы – или легко обрамляется – в хорошо зарекомендовавших себя теоретических рамках. Парадигматический пример можно найти в ранней истории феномена статического электричества.

в исполнении Шарля Дюфе, Андре-Мари Ампера и Майкла Фарадея. Как отмечает Кораи Караджа, эти эксперименты проводились в «новой исследовательской области».

Которая в то время не имела ни четкого определенной, ни устоявшейся теоретической основы (Karaca 2013).

Результаты как записано, помогают продвигать электромагнетизм как

дисциплина, которую мы знаем сегодня.

При таком понимании исследоватьские истратегии предназначены для выполнения очень специфических эпистемических функций. Они особенно важны для случаев, когда данная научная полеоткрытия для пересмотра из-за, скажем, его эмпирической неадекватности. В таких случаях исследоватьские истратегии играют фундаментальную роль в судьбе теорий с момента их появления. выводы по определению не вписываются в изучаемую теорию. Они есть так же важно, когда, слабо оформленные в рамках теории, исследоватьские истратегии обеспечивают существование информации о мире, которую не подразумевает сама теория. Более как правило, результаты полученные с помощью исследоватьских истратегий, значимы от ношении до различных целей, начатая от более практических вопросов, таких как изучение того, как манипулировать явлениями для достижения теоретических целей, таких как разработка альтернативной концептуальной основы. Стенлет также выделяет в качестве основной эпистемологической функции исследоватьских истратегий тот факт, что их результаты могут иметь важные последствия на наше понимание существующих теоретических концепций. Это тот случай, когда в пытаясь сформулировать закономерности, предлагаемые исследоватьскими истратегиями, исследователи требуют пересмотра существующих понятий и категорий и вынуждены формулировать новые, что бы обеспечить стабильную общую постановку экспериментальных результатов (Steinle 2002, 419).¹⁸ Несмотря на это, нет полного разделения между экспериментальной теорией, а скорее более сложное сосуществование, основанное на степенях независимости, способности и производить выводный подбное.

Интересно отметить, что даже в настоящее время, когда технологии продвинулись так много в научной лаборатории, исследоватьские истратегии, применяемые в экспериментальных контекстах, по-прежнему имеют первостепенное значение для общего прогресса науки и инженерии. Кроме того, было бы ошибкой исходить из этих примеров, что они связаны с историческими периодами науки, областями исследований или научными традициями. Работа Карача и по физическим высоким энергиям, например, является доказательством обратного (Kараджа 2013).

Теперь мы должны задать вопрос, возможно ли осмыслить исследоватьские истратегии для компьютерных симуляций? Ответ на этот вопрос положителен, и он приходит в форме одно из наиболее ценных применений компьютерных симуляций, а именно их способность показать нам мир, к которому мы можем легко получить доступ. Стандартное использование компьютерного моделирования состоит в исследовании того, как определенные явления реального мира моделируются в компьютере будет вести себя при определенных условиях. Делая это, исследователи могут улучшить свое понимание этого феномена независимо от того,

¹⁸ Эта идея обсуждается Кеннетом Уотерсом (Waters 2007).

¹⁹ Дополнительные исследоватьские функции, такие как от правные точные научные исследования, возможные объяснения, и другие функции обсуждаются в (Gelfert 2016, 2018).

теория или модель, в рамках которой описывается явление. Другими словами, моделирование предоставляет информацию о явлениях, выходящую за рамки реализуемой модели. В таких случаях компьютерное моделирование обычно используется для получения результатов для конкретного рассматриваемого случая, а не для вывода или получения общих решений.

Проиллюстрируем это примером.

Возьмем использование компьютерного моделирования в медицине. Одним из важных случаев является исследование сопротивления костной ткани, для чего важно понять их внутреннюю структуру. В экспериментах с реальными материалами силу прикладывают механически, измеряют и собирают данные. Проблема этого подхода в том, что он не позволяет исследовать элементы лично — прочность материала от прочности его структуры. Кроме того, этот механический процесс разрушает кость, что затрудняет просмотр и анализ того, как детская внутренняя структура реагирует на возрастающую силу. Лучший способ получить достоверную информацию о сопротивлении костной ткани — провести компьютерное моделирование.

В лабораторию ортопедической биомеханики Калифорнийского университета в Беркли Тони Кивени и его команда описали два различных типа симуляций (Кивени и др., 1994; Нибури и др., 2000). Первый тип, реальная азбука кость к оровь была преобразована в компьютеризированное изображение, процесс, который включал вырезание очень тонких срезов образца кости и их подготовку таким образом, чтобы сложная структура кости четко выделялась из бескостной прокладки. Впоследствии каждый срез был преобразован в цифровое изображение (Бек и др., 1997). Эти оцифрованные изображения позже были повторно собраны на компьютере, создав высококачественное трехмерное изображение конкретной анатомической структуры. Преимущество этого моделирования заключается в том, что оно сохраняет высокую степень правдоподобия в структуре и внешнем виде для каждого конкретного образца кости. В этом отношении мало что добавляется, удаляется, фильтруется или заменяется в процессе подготовки кости и в процессе превращения ее в компьютерную модель.

Во втором моделировании стилизованная кость компьютеризуется как трехмерное изображение сетки. Каждому отдельному квадрату в сетке присваивается различная ширина, основанная на средних измерениях ширины внутренних анатомических структур и расположенных под углом друг к другу в процессе случайного назначения (Morgan 2003). Преимущества стилизованной кости заключаются в знакомстве с процессом моделирования. Исследователи начинают с видения гипотезы простой структуры сетки, в которой по мере необходимости добавляются детали и функции. Таким образом, с самого начала создается идеализированная и упрощенная абстрактная структура кости.

Таким образом, первое моделирование напоминает процессу, который ближе к экспериментальным установкам, тогда как второе моделирование напоминает методы, применяемые в практической математической моделировании. В этом отношении все особенности и в той симуляции, и в выбранном исследовании, следуют естественным, известным. Это не обязательно так для первой симуляции, когда исследователи имеют дело с материальным объектом, который все еще обладает способностью удивлять и смущать исследователей (223).

Тем не менее в обоих случаях моделирование состоит в реализации математической модели с использованием законов механики. Затем компьютер рассчитывает влияние силы на отдельные элементы в каждой сетке и собирает отдельные эффекты в общее измерение прочности, заданной в структуре кости. Это

интересно отметить, что симуляция также позволяет визуальное отображение, как внутреннее костяк руки ведет себя под давлением, как и точка перелома.

Оба моделирования являются исследовательскими по замыслу и цели: они исследуют, как структура кости ведет себя в определенных условиях стресса и давления, и тем самым способны к пониманию исследователя. Кроме того, оба моделирования позволяют исследователям узнать, как структура кости реагирует на реальные аварии. Как условия для перелома кости и как лучше всего восстановить кости, вся информация, выходящая за рамки реализованной математической модели.²⁰

Можно, конечно, возразить, что эти компьютерные симуляции, как и все другие компьютерные симуляции, основаны на теории в том смысле, что математическая модель с расчет составляет теоретическую основу. Однако, как я только что упомянул, идея компьютерного моделирования как исследовательского эксперимента состоит в том, что обогатить важные выводы явления, не имея прочных связей с теорией. Позволяет Напомним, что эксперимент, управляемый теорией, может иметь три различных значения, ни одно из которых из которых, как я полагаю применимо к компьютерному моделированию приведенному здесь. Это не могло означать, что ожидания от носителя результатов моделирования попадают в рамки, предусмотренные данной теорией, поскольку результаты дают информацию не содержащуюся в математической модели. Это также могло не означать, что план эксперимента более или менее зависит от теории. Примерочень ясно показывает, что, помимо реализации нескольких механистических законов, существует мало теории, поддерживающей симуляцию. Наконец, это не могло означать, что инструменты используются для эксперимента, сильно зависят от теории. Хотя это правда, что компьютер связан с теорией и технологией, в принципе они мало играют роль в предоставлении надежных результатов.²¹

Затем в примере показаны две симуляции, используемые исследователями. Подобно тому, что мы говорили об исследователях экспериментов, эти симуляции генерируют значительное количество результатов, которые не могут (легко) быть оформлены в рамках хорошо установленных теоретических рамок. Тот факт, что обе модели реализуют математическое моделирование с использованием законов механики, не помогает приспособиться к новым данным. Верно и обратное, я считаю. То есть новые доказательства, полученные по результатам способствовать консолидации, переформулировке и пересмотру понятий, принципов и предположений механической теории о костях, физической теории о сопротивлении материалов и встроены модели в симуляции. Так как согласно Steinle (Steinle 2002), главные характеристики исследователей их экспериментов. В этом смысле результаты моделирования от носителя не независимы от сильных теоретических ограничений, включенные в имитационные модели.

²⁰ Утверждает ся, что информация, которую может предоставить компьютерное моделирование, уже содержится в реализованных моделях. Я нахожу это утверждение особенно вводящим в заблуждение по двум причинам. Первый, потому что есть несколько случаев, когда компьютерное моделирование создает emergentные явления, которые были строго не содержаться в реализованных моделях. Таким образом, в нем содержится неверная информация о масштабах моделей, а также искажает роль компьютерного моделирования. Во-вторых, потому что даже если реализованные модели содержат всю информацию, которую может предложить симуляция, этот факт ничего не говорит о знаниях, которыми располагают исследователи. Практически и невозможно и практически бессмысленно знать множество всех решений имитационной модели. Именно для этих случаев, у нас есть компьютерное моделирование.

²¹ Вспомните наше обсуждение в главе 4 о надежности компьютерного моделирования.

С этой точки зрения компьютерное моделирование выполняет роль исследовательской стратегии в том же смысле, что и экспериментирование. Естественно, при оценке своих результатов исследованиям все же необходимо учитывать тот факт, что они исходят из модели, т.к. противостоят более или менее прямому взаимодействию с теорией ирривальным миром. Кроме того, как уже было сказано, исследование скандальности глубоко вовлечена в использование эпистемологической функции, обеспечиваемой компьютерным моделированием.²²

5.2 Неязыковые формы понимания

5.2.1 Визуализация

Объяснение, прогнозирование и исследовательские стратегии обеспечивают понимание слова с помощью той или иной формы языкового выражения. В случае объяснения это довольно просто. Исследователи реконструируют имитационную модель, логическую математическое выражение, чтобы предложить объяснение их результатов. Прогнозирование, с другой стороны, связано с получением результатов, которые могут количественно рассуждать исследованием чужой значимой целевой системы. Наконец, исследовательская стратегия состоит в том, чтобы генерировать значимые выводы явлениях в форме данные (например, числа, матрицы векторы и т.д.). В конечном итоге все три эпистемологические функции как представлено здесь, связаны формами языковых репрезентаций. Существует также альтернативный, нелингвистический способ представления, который предлагает важные способы понимания целевой системы визуализация результатов компьютерного моделирования.²³

Поскольку визуализация являются подлинными формами проникновения в целевую систему, к ним нельзя подходить как к передаточным информационным, уже содержащейся в системе. Результаты компьютерного моделирования. Философское исследование визуализации сопротивляется логической интерпретации, которая сводит их к простому эстетическому созерцанию или к вспомогательному средству более активной информационной. Вместе с этим визуализация воспринимается как эпистемический ценный для компьютерного моделирования сами по себе. В этом отношении, визуализация являются неотъемлемой частью рассуждений исследователя и подвергаются тем же принципам обоснованности, принятия и отвержения, что и теории и модели.

Прежде чем что-то сказать о визуализации, мы должны сначала заметить, что существует несколько способов анализа этого термина. Здесь нас не интересует теоретический запутанный процесс обработки результатов симуляции в визуализации. Это означает, что нас не интересуют преобразования (например, геометрические, топологические и т.д.), алгоритмов, работающих по

²² По общему признанию, правильный интерпретации многие компьютерные симуляции становятся исследовательскими, а не делаются рассматривать это как проблему, поскольку эта характеристика хорошо согласуется с природой и использованием компьютерного моделирования. Однако я вижу, что философия наук и возражают против моей интерпретации, прежде всего потому, что он лишает особый статус, изначально придаваемый некоторым видам экспериментов.

²³ Поскольку нас не интересует визуализация в компьютерных симуляциях, другие виды визуализации, такие как графики, фотографии, видеопленки, рентгеновские снимки и изображения МРТ, исключаются из рассмотрения.

данные (например, скалярные алгоритмы векторные алгоритмы тензорные алгоритмы и т. д.). Мы также не заинтересованы в какой-либо обработке для уточнения результатов. Для нас визуализация сама по себе является главной проблемой. Мы заинтересованы в визуальном результате

компьютерного моделирования, используемого для эпистемологической оценки. Короче говоря, нас интересует такое понимание, которое достигается путем визуализации симуляции, и что исследователи могут с этим сделать.

Здесь мы также ограничиваем наш интерес разными уровнями анализа визуализации. К ним относятся: пространственное измерение (т.е. 2D и 3D визуализация), измерение эволюции во времени (статическое и динамическое визуализация), измерение манипулируемости (т.е. случаи, когда исследователи могут вмешиваться в визуализацию и модифицировать путь обновления информации, изменения точки наблюдения и т. д.) и измерения кодирования (т.е. стандартная информация, используемая для кодирования визуализации, таких как цвет, должность и др.). Каждое измерение в отдельности, а также в сочетании с другими, предлагают различные виды визуализации.

Общее значение визуализации состоит в том, что они представляют собой комплекс пространственных распределений и отношений объектов, форм, времени, цвета и динамики. Лаура Перини объясняет, что визуализация является отчасти конвенциональными интерпретациями в том смысле, что отношение между изображением и содержанием не определяется внутренним чертами изображения или отношением сходства между изображением и его референсом. Скорее, необходимо что-то внешнее по отношению к изображению и его ссылке.

определяют их референтные отношения (Perini 2006). Хорошим примером таковой условности является использование некоторых форм кодирования, таких как цвет — яркость, контрастность и т. д. — глифы и тому подобное. Давайте подробнее рассмотрим цвет. Синий всегда символизирует холод в моделировании, включая температуру. Было бы нарушением негласных правил научной практики и изменить его на красный или зеленый. Аналогично для некоторых символов: стрелка, например, представляет движение — движение, смещение — вперед — вверх, направление — когда вершина направлена вверх. Поскольку интерпретация и понимание визуализации — это слишком естественные и автоматические для исследователей, изменения могут ввести в заблуждение и ненужные задержки в научной практике.²⁴ В этом смысле использование и применение правильных условностей необходимо для понимания визуальных представлений (864).

Рассмотрим теперь случай изменения пространственного распределения во всемостальном стандартного изображения. Разговаривая с группой коллег из Университета Колорадо, в Боулдере, рассказ о переворачивании карт мира вверх ногами — это пример из личного опыта. В этом случае Южная Америка будет «вверху», а Северная Америка будет «ниже». «Север» и «Юг», конечно, тоже будут смещены. Переворачивание карты таким образом может быть политическим заявлением, поскольку мы обычно приписываем «выше» — в пространственном распределении на карте — быть как-то лучше или важнее. Моим коллегам идея показалась весьма привлекательной, так как она вызывает «психическую судорогу». увидеть мир «вверх ногами»²⁵. Под этим я просто подразумеваю, что нам потребуются некоторые

²⁴ Перини исследует эту идею (Perini 2004, 2005).

²⁵ Здесь нужно сделать два замечания. Во-первых, идея «психической судороги» исходит от Витгенштейна, который сказал, что философские проблемы сравниваются с душевным спазмом, который нужно облегчить, или с узлом в нашем мышлении, который нужно развязать (Wittgenstein 1976). Во-вторых, нет «перевернутого» мира, поскольку у нас это просто то, как мы люди, решили его представить. Пока север и юг сохраняются

секунд, что обычно понять новое пространственное распределение континента. Как уже упоминалось, стандартизация цветов, символов и обозначений является фундаментальной общепринятой интерпретацией, облегчающей свободное течение научной практики.

В этом контексте компьютерная визуализация может выполнять несколько эпистемических функций. Подумайте, насколько исследователи могут понять циклическую систему, просто взглянув на нее. На соотношение объектов, распределенных в пространстве и времени, их визуальных свойств и поведения, цветовой палитры. Все они способствуют общему смыслу того, что наблюдает исследователь. Кроме того, визуализация облегчает выявление проблем в системе уравнений, составляющих компьютерное моделирование.

Другими словами, визуализация может показывать, где что-то пошло не так, неожиданно, или просто показывать ложное предположение в модели. Это, конечно, не сказать, что визуализация способна обеспечить технические решения. Сравните эту идею с методом проверки и проверкой. В последних случаях эти методы предназначены для найти ряд проблем (например, неправильные математические выводы дискретизации процесса) и предоставить теоретические инструменты ведущие к решению. В случае визуализации, идентификация ошибок осуществляется путем визуального осмотра, и, таким образом, это зависит от рендеринга взгляда исследователей. В этом смысле визуализация очень полезна для помощи в принятии решений о различных курсах действий и предоставлении оснований для информированного решения, но они не предлагают формальных инструментов для решения проблем в моделировании модели. В этом отношении визуализация также важна, потому что она расширяет возможности использования компьютерных симуляций в социальной сфере и политике.

Позвольте мне теперь проиллюстрировать это довольно абстрактное обсуждение на примере торнадо. Одной из главных проблем науки о штормах заключается в том, что количество информации, которую исследователи получают от реального торнадо, весьма ограничено. Даже при очень сложных спутниковых снимках и атмосферных зондах торнадо, современное состояние научных приборов могут дать исследователям полную картину происходящего.

По этим и другим причинам, так или иначе, безопасность изучения торнадо с рабочей скоростью, исследователи более склонны изучать эти природные явления с помощью компьютерного моделирования. В этом отношении Лу Уикериз

Национальная лаборатория сильных штормов NOAA говорит: «На месте мы можем определить полностью понять, что происходит, но мы считаем, что компьютерная модель является разумной приближением к тому, что происходит, и с помощью модели мы можем захватить все истинное» (Баркер 2004).

Моделирование, которое воссоздали Лу Уикериз, Роберт Вильгельмсон, Ли Орф и другие, является генезисом супервистера, похожего на тот, что видели в Манчестере, Южная Дакота. В июне 2003 г. Затем моделирование основывается на модели шторма, которая включает уравнения движения для воздуха и водных субстанций (например, капля, дождя, льда) и размеры сетки в диапазоне от пяти метров до равномерного разрешения до гораздо более высокого разрешения. Данные используются для определения условий перед торнадо, таких как скорость ветра, атмосферное давление и влажность вблизи Манчестера в то время. Поскольку у данных довольно мало, можно предположить, что они, разделенные расстояниями от двадцати метров до трех километров.

зафиксировано, мы можем изобразить земной шартак, как нам нравится —хорошим примером этого является логотип Объединенные Нации. Художественное представление этого см. в работе Хосе Торреса Гарса «Иа, Америка». Инвертида, 1943 год.

Это означает, что исследователи должны учитывать такой широкий диапазон пространственного распределения при анализе визуализации.

Естественно, визуализация торадо уменьшена. Пространственный масштаб торадо колеблется от нескольких километров в высоту до нескольких сотен километров в ширину и глубину. Общее время выполнения симуляции также может варьироваться в зависимости от разрешения торадо и количества включенных в него элементов — например, существует ли более одного торадо или также имитируется разрушение целого города. Кроме того, временная шкала торадо также зависит от его первоначального формирования, эволюции и гибели. По этим причинам компьютерное моделирование обычно измеряется в «шг ормовых часах». Визуализация торадо типа F3 внутри суперяйк и в (Wilhelmson et al. 2005) представляет собой эволюцию шорма, хотя визуализация занимает всего около полтора минут.

Отметим также, что интерпретация и хореография визуализации также важны, как и сама визуализация. Необходимо сделать выбор, что бы сосредоточиться на наиболее значимых данных и событиях. При визуализации торадо тысячи рассчитанных траекторий были сокращены до нескольких наиболее значимых.

Обычно есть две причины для редактирования визуализации: либо есть данные, нерелевантные для какой-либо визуализации, либо есть данные, которые нерелевантны для определенных целей в визуализации. Например, Триш Баркер сообщает, что полная визуализация (Wilhelmson et al. 2005) «была бы похожа на тарелку пасты с ангельскими волосами» (Barker 2004) из-за огромного количества отображаемой информации. В таких случаях визуализация не соответствует своей цели, поскольку она не дает понимания рассматриваемого явления — аналогичный вопрос поднимается при уменьшении масштаба визуализации во времени и пространстве.

Однако в большинстве случаев исследователи используют все имеющиеся данные, просто освещая их различными аспектами. Таким образом, можно получить различную информацию из одного и того же моделирования. И различная информация приводит к различным планам действий, мерам по предотвращению выявления проблем в моделировании, которые не были предусмотрены этапами проектирования и программирования. Интересный пример последнего приводит Орф, который упоминает, что в визуализации происхождения торадо дождь не центрифугировался из торадо, как следовало бы. Он заключает: «это то, над чем нам нужно работать» (Orf et al. 2014).

Таким образом, цель моделирования — не просто выискивать сложные математические модели, а скорее визуализировать структуру, формирование, эволюцию и гибель. Больше разрушительных торадо, возникающих в суперяйках. Для достижения этого решающим аспектом визуализации является ее реалистичность. То есть визуализация должна иметь достаточное разрешение для захвата притока торадо на малых высотах, тонких валов осадков, образующих «кучковые эхосигналы» рядом с основным торадо, облаков и, если возможно, уровня земли, над которыми проходит торадо, и всех обломков. Он рассеивается.

Визуальный реализм — это больше, чем эстетическая характеристика, он необходим для оценки компьютерных симуляций. Орф вспоминает, как спрашивал у охотников за торадо их мнение о визуализации его моделирования (см. рис. 5.1 и рис. 5.2). Для полевых экспертов визуализация выглядит достаточно разумной, то есть визуальная реалистичность убедительна, несмотря на отсутствие глубокого понимания имитационной модели и методов визуализации торадо. Для охотников за торадо есть только эстетический пример.

опыт, который приближает к реальному опыту. Но это не умаляет их признания эпистемологической силы компьютерных симуляций. Надежность имитационной модели и доверие к результатам обеспечивается Орфом и его командой, поскольку они несут ответственность за это в разделение труда.

Еще одним важным элементом визуального реализма является кодирование цвета и глифов. Как Роберт Паттерсон рассказывает, что цветные рубки и потоки представляют движение и скорость частицы при попадании в воздушный поток, показывая геометрию воздушного потока внутри вихря турнадо.²⁶ Изменение цвета рубки ручья передает дополнительную информацию о температуре воздуха, а процесс обтекания нагара – турбулентности. Интересно, что цвет играет еще более информативную роль, например, выделяя давление турнадо и скорость вращения. Сферы вихря низкого давления представляют собой развивающийся турнадо, который поднимается в восходящем потоке и окращен давлением (см. рис. 5.1 и рис. 5.2). Наклон конусов окращенные в зависимости от температуры представляют скорость и направление ветра в поверхности и показателе взаимодействия холодного воздуха вокруг развивающегося турнадо (Wilhelmson et al. 2010).

Донна Кокс, руководитель отдела экспериментальных технологий NCSA, улавливает довольно но поэтический и командные усилия, вовлеченные в разработку этой визуализации. Она изображает ее коллегу как «очень трудолюбивая, совместная команда рождения» (Баркер, 2004). Говоря это, Кокс ясно дает понять, что эта конкретная визуализация представляет собой сложную процесс, который включает в себя консультацию между исследователями и дисциплинами. Баркер далее поясняет, что она каждый раз проецирует исследования и дисциплины. Баркер далее поясняет, что она каждый раз проецирует исследования и дисциплины. Баркер далее поясняет, что она каждый раз проецирует исследования и дисциплины. Баркер далее поясняет, что она каждый раз проецирует исследования и дисциплины.

В этот момент интересно отметить, что турнадо-спутник, вращающийся в противоположных направлениях, появляется со стороны основного турнадо (см. рис. 5.2). Это явление, которое экспериментально, что это редкое наблюдение в природе, и это не зарегистрируется охотниками из астрономии. На самом деле вращающийся в противоположных направлениях спутник турнадо не наблюдался в Манчестере, и исследователи не ожидали его появления. Тем не менее, охотники за турнадо признают возможность появления турнадо-спутников, учитывая правильные предположения, введенные в компьютерное моделирование. Мы могли бы сделать вывод, что это в турнадо сбивает исследователей с толку в том смысле, что он неожидан, но эмпирически возможен. Здесь уместно краткое напоминание. В главе 3 мы обсуждали Марию Заявления Моргана о том, что компьютерное моделирование удивляет исследователей, но не смущает их, потому что поведение симуляций можно проследить и объяснить в соответствии с рендерингом базовой модели. Теперь читатель может предположить вернуться к этой главе в свет этого примера.

Возвращаясь к анализу визуализаций в компьютерных симуляциях, мы видим, что исследователи могли создать очень сложную компьютерную симуляцию турнадо в «реальном времени» и визуализировать его вместе с его свойствами и поведением. Благодаря этим визуализациям исследователи могут понять формирование, эволюцию и упадок

турнадо гораздо эффективнее, чем с помощью любой другой лингвистической формы (например, математических и имитационных моделей, матриц, векторов или любой другой формы представления).

²⁶ Полное видео, показывающее развитие турнадо, см. на http://avl.ncsa.illinois.edu/wp-content/uploads/2010/09/NCSA_F3_Tornado_H264_864.mov

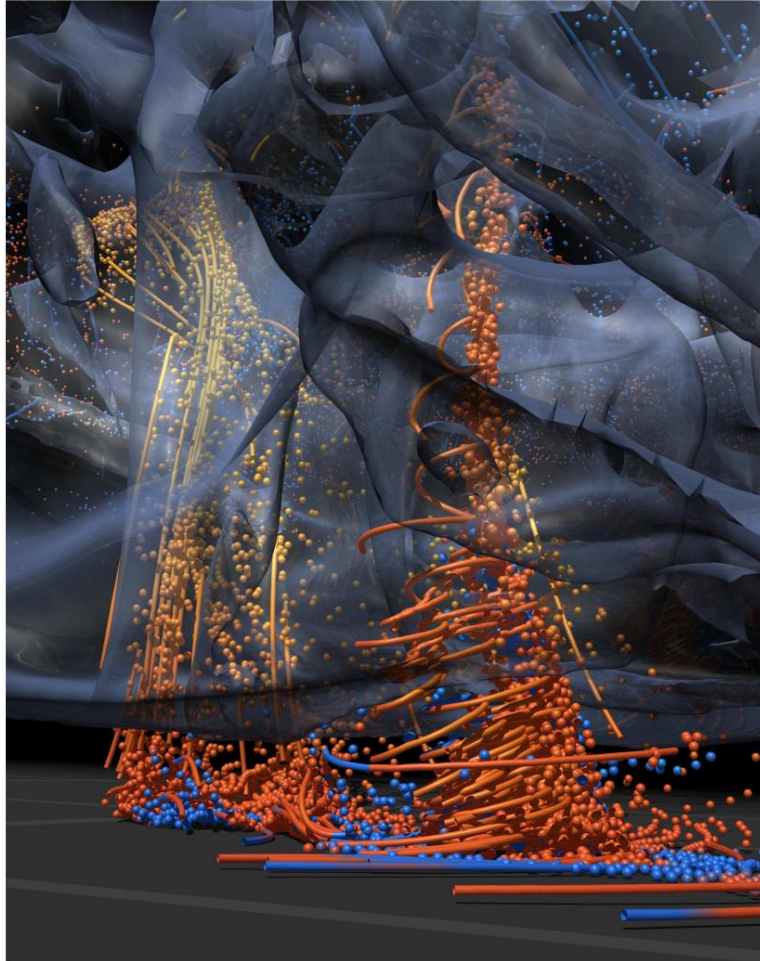


Рис. 5.1 Изображение визуализации типа F3 с образованием облаков. Создано Лабораторией расширенной визуализации в NCSA. Предоставлено Национальным центром суперкомпьютерных приложений (NCSA) и Советом попечителей Университета Иллинойса.

результатов компьютерного моделирования). Исследователи также могут объяснить появление неожиданного спутникового tornado, вращающегося в противоположных направлениях, предсказать его эволюцию, описать его поведение, изучить его траекторию, в первую очередь, проанализировать начальные условия, которые сделали возможным возникновение спутникового tornado.

Понятным образом, эта визуализация полезна для нескольких эпистемологических задач, таких как объяснение ряда вопросов, связанных с tornado, измерение их внутренних значений и прогнозирование потенциального ущерба от tornado. Заметим, что смысл, придаваемый здесь объяснению предсказаний состоит в том, что они являются эпистемологическими функциями, зависящими от языковой основы. В этом смысле эти формы объяснения и предсказания зависят

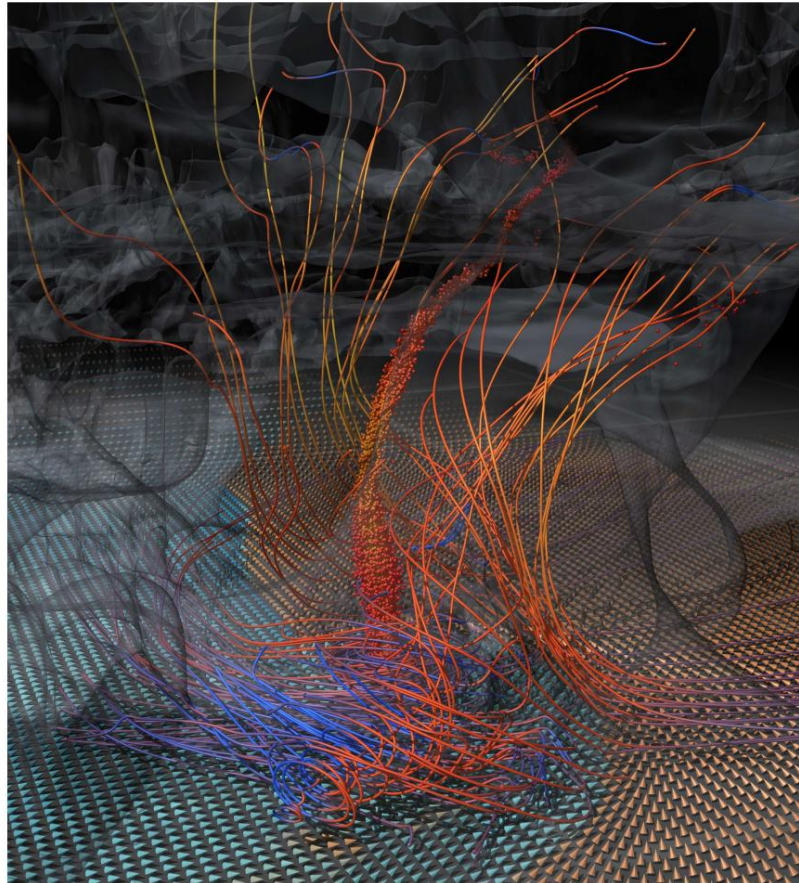


Рис. 5.2 Изображение визуализации итерационного типа F3 с образованием смерч-а-спутника. Создано Лабораторией расширенной визуализации в NCSA. Предоставлено Национальным центром суперкомпьютерных приложений (NCSA) и Советом попечителей Университета Иллинойса.

на психологическом уровне итерационное восприятие итерационного, а не на лингвистическом уровне реконструкции или визуализации — если это вообще возможно. Еще одно важное применение этой визуализации — проверка исходных входных данных, а также придание надежности лежащей в их основе имитационной модели. Если поведение итерационного слишком сильно отличается от реального итерационного — или от того, что ожидают эксперты — тогда у исследователей есть основания полагать, что моделирование, входные данные или что-то другое неверны.

Визуализация итерационного, представленная на рисунках 5.1 и 5.2, можно обобщить как трехмерную динамическую эволюцию возможностей управления начальными и граничными условиями. Характерной чертой этого вида визуализации, наряду с большим количеством визуализаций в компьютерных симуляциях, является то, что они отображают на экране компьютер. Хотя указание на то, что оно настолько очевидно может показаться произвольным,

это связано с определенными ограничениями способности исследовать манипулировать, визуализировать и, в конечном итоге, понимать визуализацию. Я вернусь к этому моменту в конце раздела.

Более сложные формы визуализации используются в высокотехнологичных научных исследованиях с их учреждениями. На ум приходят две формы а именно «виртуальная реальность» (VR) и «дополненная реальность» (AR). Первый относится к визуализации, в которой исследователи могут взаимодействовать с ними с помощью специальных устройств, таких как очки и «мышь-палочка». В Штутгартском центре высокотехнологичных исследований (HLRS) при Штутгартском университете исследователи воссоздали полную копию Форбаха, городка в Шварцвальде, вместе с электростанцией Рудольфа Фетвайса. Проектирование визуализации в специальной комнате, известной как Cave Automatic Virtual Environment (ПЕЩЕРА)²⁷ — исследователи могут прогуляться по Форбаху, проникнуть внутрь плотины а также подземные турбины и осмотреть резервуар, все с помощью специального набора линз. Кроме того, исследователи могли войти в любой дом в этом районе и наблюдать, как проектируется структура и модернизация изатрагивают граждан, дику природы и окружающую среду в целом (Gedenk 2017). Тот факт, что симуляция находится, так сказать, за пределами экранов компьютера, дает значительные преимущества с точки зрения практики. Компьютерного моделирования, а также понимания результатов и передачи их.



Рис. 5.3 Автоматическая виртуальная среда Cave (CAVE). CAVE дает исследователям полную погружение в среду трехмерного моделирования для анализа и обсуждения своих расчетов. Создано Департамент визуализации Штутгартского центра высокотехнологичных исследований (HLRS) Университета Штутгарта. Предоставлено HLRS, Штутгартский университет.

²⁷ ПЕЩЕРА представляет собой черную комнату размером три на три на три метра с пятью дюймовыми DLP-

проекторами с разрешением 1920 на 1200 пикселей, каждый из которых передает соответствующее изображение, создавая точную визуализацию для человеческого глаза. По углам потолка установлены четыре камеры для слежения исследователи вводят очки и мышь-палочку.

Вторая форма визуализации известна как «дополненная реальность» и, как следует из названия, состоит в объединении смоделированной информации с реальным миром.

Интересно, что есть много способов сделать это. В HLRS типичный случай AR состоит в наложении предварительного смоделированных вычислений на помеченный реальный объект. С помощью передовых технологий, таких как кодовые марки и специальные камеры компьютерное зрение и распознавание объектов, можно значительно повысить степень понимания и понимания объекта в реальном мире.

Простым, но наглядным примером AR является интерактивно моделируемый и отображаемый поток воды вокруг турбины Коплана (см. рис. 5.4). С этой целью исследованиям необходимо сначала предварительно смоделировать поток воды вокруг турбины используя стандартные уравнения динамики и потока — в HLRS исследователи используют FEFLOSS, быстрый решатель Навье-Стокса, который вычисляет поток воды. Смоделированная турбина, с другой стороны, представляет собой модель архитектурной турбины, поэтому она должна быть максимально точной.

Как только предварительно смоделированные данные становятся доступными, исследователи помечают кодовыми марками определенные места на реальной турбине, чтобы визуализировать смоделированный поток. С помощью этой информации генератор параметрической сетки создает поверхность и расчетную сетку водяной турбины. После нескольких секунд обработки и результатов моделирования отображаются на реальной турбине, имитирующей реальный поток.²⁸

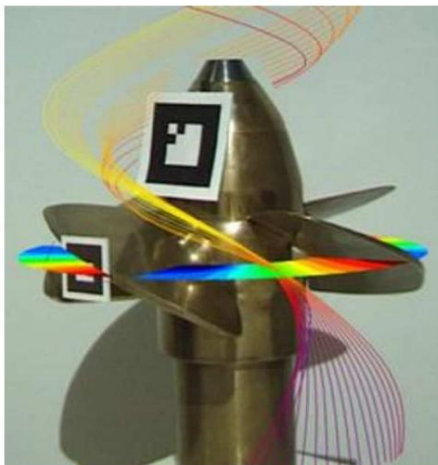


Рис. 5.4 Поток воды моделируется в интерактивном режиме и отображается на верхней части турбины Коплана. Создан от делом визуализации Штутгартского центра высокопроизводительных вычислений (HLRS) Штутгартского университета. Предоставлено Stelliba Hydro GmbH & Co KG.

²⁸ Есть несколько случаев, когда симуляция вычисляется в реальном времени во время сеанса дополненной реальности. Однако основная проблема с этой технологией заключается в том, что она слишком медленная и требует много времени.

Давайте теперь спросим, какие эпистемологические преимущества могут предложить VR и AR? 29 Как и следовало ожидать, каждая форма визуализации имеет разную эпистемологическую ценность и, таким образом, обеспечивает разные формы понимания. Однако общим знаменателем является то, что и VR, и AR «натурализируют» симуляционные смыслы, что исследователи манипулируют визуализацией, как если бы они манипулировали реальными вещами в мире. Можно сказать, что симуляция становится естественным продолжением мира, его «усложнением» в том же смысле, что и экспериментирование. Для VR натурализация происходит в форме «прогулки» внутри симуляции, «смотрения» вверх и вниз, «прикосновения» к объектам, «изменения» их местоположения и т. д. Для AR натурализация происходит из внедрения симуляции в реальность. Реальный мир и реальный мир в симуляции смоделированный поток выглядит как естественный поток, а реальная турбина становится частью моделирования.

Как следствие, результаты симуляции становятся эпистемически более доступными, чем простая визуализация на экране компьютера, как ойбыреалистичной и изолированной она ни была. AR и VR привносят симуляционный мир, а мир — в симуляцию. Они встречаются друг в друга, смешивая реальное и смоделированное в одну новую натурализованную форму реальности. Успех AR и VR, в целом, заключается в том, что они требуют гораздо меньше когнитивных усилий от исследователей, а также от политиков, политиков и широкой общественности, поскольку они превращают практику моделирования в довольно естественный научный и инженерный опыт.

Давайте сначала сосредоточимся на VR. Как показано на рис. 5.3, два исследователя очень реалистично стоят у поверхности воды. На изображении также показаны исследователи, держащие в руках специальную «мышь-палочку», которая помогает им перемещаться по визуализации, а также по меню отображаемого в правой части ПЕЩЕРЫ. Использование 3D-очков также важно, так как они помогают ориентироваться в визуализации как им образом, что обычно касалась естественной для человека глаза.

С помощью этих гаджетов упрощается навигация. Палочка-мышь позволяет исследователям «ходить» в симуляции, а трекерные очки позволяют исследователям «смотреть» сверху или снизу различных смоделированных объектов так же, как они это делают в реальной жизни. Как упоминалось ранее, неоспоримым преимуществом использования дополненной реальности является то, что она переносит симуляционный реальный мир. Но есть и несколько других преимуществ дополненной реальности, призванных облегчить наше понимание данной целевой системы.

В беседе в HLRS Томас Обст и Вольфганг Шютте рассказали мне, что дополненная реальность очень успешно интернализует политиков, политиков и широкую общественность в результаты моделирования. Рассмотрим снова пример с турбиной (рис. 5.4). Можно сказать, что результаты моделирования соответствуют зинтересованным сторонам без необходимости находиться в CAVE. Вместо этого результаты моделирования можно визуализировать на месте с помощью турбины портативного компьютера и камеры. Портативность имеет значение. Фактически, AR облегчает объяснение сложных технических вопросов простым и органичным образом для исследователей, которые изначально не участвовали в моделировании. «Исследователи, а также политики и широкая общественность», — говорит Обст,

²⁹ Я благодарю Томаса Обста и Вольфганга Шютте из HLRS за объяснение деталей их интерактивной работы.

«может связать и понять результаты моделирования гораздо проще с помощью AR, чем на экранные компьютеры или даже в CAVE».

К сожалению AR имеет свои ограничения. Основная проблема, которая беспокоит многих исследователей, заключается в том, что AR зависит от этапа предварительного расчета, то есть визуализированные результаты вычисляются в реальном времени, а следовательно предварительные вычисления. Из-за этого его вклад в моделирование ограничен несколькими способами. Например, в среде дополненной реальности невозможно обнаружить ошибки в реальном времени. Кроме того, если условия проектирования изменяются (например, элементы будут добавлены или удалены из исходной симуляции или настройки материала), то среда AR может оказаться совершенно бесполезной.³⁰ Важное преимущество VR и AR по сравнению с визуализацией на экране компьютера. заключается в том, что они не принуждают ни исследователей, ни общественность — политиков, политиков и т. д. — придерживаться одной фиксированной точки зрения, а не другой. Этот момент связан с «нативизацией» визуализации, созданной VR и AR, упомянутой ранее. Исследователи и общественность могут манипулировать симуляцией и, таким образом, сосредоточить свое внимание на том, что для них наиболее важно. Сравните это с визуализацией на экране компьютера. Использование мыши — или, возможно, сенсорного экрана — ограничивает точность внимания, устанавливает порядок важности и создает заданную перспективу. При использовании визуализации на экране для сообщения результатов обществу и исследователей есть заранее выбранная перспектива того, что показывать (например, путь выбора угла, навигации по меню параметров и т. д.). Вместо этого, когда передатчик результатов осуществляется через виртуальную или дополненную реальность, публика может по-другому взаимодействовать с визуализацией и, таким образом, понимать ее на своих собственных условиях, без какой-либо заранее выбранной точки зрения.

Проще говоря, с VR и AR исследователям и общественности не нужно много знать о симуляционных моделях или их предположениях, чтобы понять результаты компьютерного моделирования. Хотя это так же относится к визуализации на экране компьютера, виртуальная и дополненная реальность нативизируют процесс визуализации.

5.3 Заключение и замечания

На протяжении всей этой книги я утверждал, что компьютерное моделирование играет центральную роль в современной науке и инженерных исследованиях. Их важность заключается в эпистемологической силе, которую они обеспечивают как методы исследования. В предыдущей главе я утверждал, что компьютерное моделирование дает знания о целевой системе. В этой главе я покажу, как достигается понимание с помощью компьютерного моделирования в научных и инженерных исследованиях.

Затем я разделил главу на две формы понимания, а именно на лингвистическую форму и нелингвистическую форму понимания. Различие предназначено для того, чтобы показать, что существуют формы понимания, зависящие от символической формы (например, формулы, спецификации и т. п.), и другие формы понимания, зависящие от символической формы

³⁰ Это и проблему можно решить, вычисляя и визуализируя результаты в среде дополненной реальности и в режиме реального времени. К сожалению такая технология требует больших затрат с точки зрения вычислительного процесса, времени и памяти.

несимволические формы (например, визуализации, звуки, взаимодействия). Случаи, когда квалификация является как первая, включаются объясняющую силу компьютерных симуляций, их предсказательное использование и возможность генерировать важные выводы явлениями реального мира. Каждый из них так или иначе зависит от имитационной модели как набора формул.

Что касается неязыковых форм понимания, я обратился к случаям визуализации и компьютерных симуляций. В научном и инженерном сообществе хорошо известно, что визуализация является важным средством понимания результатов компьютерного моделирования. В разделе, посвященном этой теме, я обсуждаю стандартные визуализации на экране компьютера и менее распространенные, но важные для научных и инженерных целей, виртуальную реальность и дополненную реальность.

Рекомендации

Ажелли, Марко, Бруно Гонсалвеш Дуйгу Балкан, Виттория Кольца, Хао Ху, Хосе Дж. Рамаско, Стефано Мерлер и Алессандро Веспиньяни. 2010. «Сравнение крупномасштабных ислительных подходов к моделированию эпидемий: агенты и иструтурированные модели метапопуляций». BMC Infectious Diseases 10 (190): 1–13.

Балкан, Дуйгу, Виттория Кольца, Бруно Гонсалвес, Хао Ху, Хосе Дж. Рамаско и Алессандро Веспиньяни. 2009. «Многостатистические мобильные сетевые и пространные распространение инфекционных заболеваний». Труды Национальной академии наук Соединенных Штатов Америки 106 (51): 21484–21489.

Баркер, Треш 2004. «Охота за супертвистером». Национальный центр суперкомпьютерных приложений — Университет Илинойса в Урбане-Кампейн. <http://www.ncsa.illinois.edu/news/stories/supertwister>.

Барнс, Э. 1994. «Объяснение грубых фактов». Философия наук 1: 61–68.

Барретт, Джеффри А. и П. Кайл Стэнфорд. 2006. «Философия науки и Энциклопедия». Глава. Предсказание под редакцией С. Саргара и Дж. Пайфера, 585–599. Рутледж.

Бек, Дж. Д., Б. Л. Кэнфилд, С. М. Хэддок, Т. Дж. Х. Чен, М. Котари и Т. М. Кивени. 1997. «Трехмерное изображение траекторий кисти с использованием компьютерной техники и фрезерования с числовым программным управлением». Кость 21 (3): 281–287.

Бем, К., Дж. А. Шевченко, Р. Дж. Уилкинсон, К. М. Боуг и С. Пасколи. 2014. «Использование спутников Млечного Пути для изучения взаимодействия между холодной темной материей и излучением» [на английском языке]. Ежемесячные уведомления Королевского астрономического общества: письма 445, вып. 1 (ноябрь): L31–L35. По состоянию на 18 июля 2016 г.

- Брюэр, Уильям Ф. и Брюс Л. Ламберт. 2001. «Нагруженность теорией наблюдения и нагруженность теорией оптимального научного процесса». *Философия наук* 68 (S3): S176–S186.
- Крейвер, Карл Ф. 2007. *Объяснение мозга: механизмы мозаичное единство неврология*. Издательство Оксфордского университета.
- Дастон, Лоррейн и Питер Галисон. 2007. *Объективность. Зональные книги*.
- Дуглас, Хизер. 2009. *Наука, политика и идеал безценности*. Университет Питтсбурга Press.
- Джон, Хуан М. 2017. «Изменение диапазона объяснения: научное объяснение когнитивного моделирования». *Международные исследования в области философии наук* 31 (1): 27–45.
- Элгин, К. 2009. «Является ли понимание фактом?» В книге «Эпистемическая ценность» под редакцией А. Хаддок, А. Миллара и Д. Х. Приарда, 322–330. Издательство Оксфордского университета.
- Элгин, Кэтрин. 2007. «Понимание и факты». *Философские исследования* 132 (1): 33–42.
- Фарбах, Людвиг. 2005. «Понимание грубых фактов». *Синтез* 145, вып. 3 (июль): 449–466.
- Франклин, Аллан. 1986. *Пренебрежение экспериментом*. Издательство Кембриджского университета.
- Фридман, Майкл. 1974. «Объяснение и научное понимание». *Журнал философии* 71 (1): 5–19.
- Гарсия, Пито и Мариса Веласко. 2013. «Исследовательские стратегии: экспериментальное моделирование». В книге «Когнитивное моделирование и меняющееся лицо научных экспериментов» под редакцией Хуана М. Джона и Эдварда Арнольда. Издательство Кембриджских ученых.
- Геденк, Эрик. 2017. «Комната визуализации CAVE погружает исследователей в моделирование». <https://www.chase.de/en/resolution-services/portfolios-services/visualization/virtual-reality>.
- Гельферт, Аксель. 2016. *Как заниматься наукой с помощью юмоделей*. Краткие сведения Спрингера по философии. Спрингер. ISBN: 978-3-319-27952-7 978-3-319-27954-1, по состоянию на 23 августа 2016 г.
- . 2018. «Модели в поисках целей: исследовательское моделирование и случай шаблонов Тьюринга». В «Философии наук» под редакцией А. Кристияна, Д. Хоммена, Н. Ретцлаффа и Г. Шурца, 245–271. Спрингер.
- Взлом, Ян. 1992. «Самооправдание лабораторных наук». В книге «Наука как практика и культура» под редакцией Эндрю Пикеринга, стр. 29–64. Издательство Чикагского университета.

Халлоран, М. Элизабет, Нил М. Фергусон, Стивен Кэпк, Ира М. Лонгини, Дерек А.Т.

Каммингс, Брайан Льюис, Шуфу Сюй, Кристин Фрейзер, Анил Вулликанти, Тимоти и Си Германн и др. 2008 г. «Моделирование целенаправленного многоуровневого сдерживания пандемии гриппа в США». Труды Национальной академии наук 105 (12): 4639–4644.

Хэнсон, Норвуд Рассел. 1958. Образцы открытий: исследование окончательных основ науки. Издательство Кембриджского университета.

Хемпель, К., и П. Опенгейм. 1948. «Исследования логики и объяснения». Философия науки 15 (2): 135–175.

Хемпель, Карл Г. 1965. Аспекты научного объяснения и другие очерки в Философия науки. Свободная пресса.

Караджа, Кораи. 2013. «Сильные и слабые стороны теоретического нагружения экспериментов: теоретическое и исследовательское экспериментальное истощение». Физик и чистые высокие энергии. Наука в контексте 26 (1): 93–136.

Кивени, Т. М., Э. Ф. Вахтель, Х. Е. Гуо и В. С. Хейс. 1994. «Механический Поведение поврежденной трабекулярной кости» [на англ.]. Журнал биомеханики и 27, нет. 11 (ноябрь): 1309–1318 гг.

Китчер, Филип. 1981. «Объяснительная унификация». Философия науки 48 (4): 507–531.

———. 1989. «Объяснительная унификация и причинная структура мира». В Scientific Explanation, под редакцией Филипа Китчера и Уэсли С. Сэлмона, 410–410 гг. 505. Издательство Миннесотского университета.

Крох, Ульрих. 2008. «Как цифровое компьютерное моделирование объясняет процесс реального мира». Международные исследования в области философии науки 22 (3): 277–292.

Кун, Т.С. 1962. Структура научных революций. Чикагский университет Напечатать.

Литтон, Питер. 2001. «Что хорошего в объяснении?» В объяснении под редакцией Г. Хон и С. Раквер, 43–59. Спрингер.

Ллойд, Элизабет А. 1995. «Объективность и двойной стандарт феминистского эпистемологии». Синтез 104 (3): 351–381.

Морган, Мэри С. 2003. «Эксперимент без материального вмешательства». В «Философии научного экспериментирования» под редакцией Ханса Раддера, стр. 216–235. Университет Питтсбург Пресс.

Нибур, Глен Л., Майкл Дж. Фельдштейн, Джонатан С. Юн, Тони Дж. Чен и Тони МКивени. 2000. «Конечно-элементные модели с высоким разрешением и прочностью костей». асимметрия отчуждает разрушение трабекулярной кости». Журнал биомеханики 33 (12): 1575–1583.

- Орф, Ли, Роберт Вильгельмсон, Лу Вилер, Б. Д., Ли и К. А. Финли. 2014. Разговор 3В.3 на конференции по сильным локальным алгоритмам Мэдисон, ноябрь. <https://ams.confex.com/ams/27SLS/webprogram/Paper255451.html> <https://www.youtube.com/watch?v=1JC79gzZyKU%5C&t=330> с.
- Перини, Лаура. 2004. «Визуальные представления и подтверждение». *Философия наук* и 72 (5): 913–916.
- . 2005. «Правда в картинках». *Философия наук* и 72 (1): 262–285.
- . 2006. «Визуальное представление». Глава. *Визуальное представление в философии наук и. Энциклопедия под редакцией Сахотра Саркари и Джессика Пфайфера*, 863–870. Рутледж.
- Лосось, Уэсли С. 1984. *Научное объяснение и причинно-следственная структура*. Мир. Издательство Принстонского университета.
- . 1989. *Четыре десятилетия научного объяснения*. Университет Питтсбурга. Нажимать.
- Скьяффонати, Виола. 2016. «Расширение радиционного понятия эксперимента в вычислительной технике: исследование эксперимента». *Научная и инженерная этика* 22, вып. 3 (июнь): 647–665. ISSN: 1471-5546. doi: 10.1007/s11948-015-9655-z. <https://doi.org/10.1007/s11948-015-9655-z>.
- Шурц, Герхард и Карел Ламберт. 1994. «Очерк теории научного понимания». *Синтез* 101: 65–120.
- Штейнле, Фридрих. 1997. «Вход в новые области: исследование использования эксперимента». *Философия наук* и 64: S65–S74.
- . 2002. «Экспериментология и философия науки». *Перспективы* Наука 10 (4): 408–432.
- Стюарт Роджер Х. 1985. «Искусственный распад и полемика между Кембрижем и Веней». *Наблюдение, эксперимент и гипотеза в современной физике*: 239–307.
- Зуппе, Фредерик, изд. 1977. *Структура научных теорий*. Университет Иллишум Пресс.
- Ван Хелден, Альберт. 1974. «Сатурн и его Ансы». *Журнал истории Астрономии* 5 (2): 105–121.
- Уотерс, К. Кеннет. 2007. «Природа контекста исследования экспериментатора: Введение в критическое исследование поисковых исследований». *История и философия науки о жизни* 29 (3): 275–284.
- Вейрих, Пол. 2011. «Объяснительная сила моделей и симуляций: философское исследование». *Моделирование и игры* 42 (2): 155–176. ISSN: 1046-8781, 1552-826X.

Вильгельмсон, Роберт, Мэтью Гилмор, Луи Уикер, Глен Ромайн, Ли Карсон и Марк Страк а.
2005. «Визуализация торнадо F3 в моделируемой грозной суперячейке». Материалы
SIGGRAPH '05 Каталог электронного искусства и анимации ACM SIGGRAPH 2005:
248–249. <http://авл.нкса.illinois.edu/what-we-do/services/media-downloads>.

Вильгельмсон, Роберт, Лу Уикер, Мэтью Гилмор, Глен Ромайн, Ли Карсон, Марк Страк а,
Донна Кокс и др. 2010. Визуализация F3 Tornado: перспектива погониза штурмом.
Технический отчет. Лаборатория расширенной визуализации NCSA. <http://авл.нкса.Иллинойс.образование/что-мы-делаем/services/media-downloads%20https://www.youtube.com/watch?v=EgumU0Ns1YI>.

Уилсон, Кертис. 1993. «Расчет Клеро возвращения кометы Галлея в восемнадцатом
веке». Журнал истории астрономии 24 (1-2): 1–15.

Витгенштейн, Людвиг. 1976. Зеттель. Под редакцией GE Anscombe и Georg Henrik
Фон Райт. Калифорнийский университет Press.

Вудворд, Джеймс. 2003. Заставить вещи происходить. Издательство Оксфордского университета.

Вулфсон, Майкл М. и Джеффри Дж. Перт. 1999. СПУТНИК ДЛЯ.

Глава 6

Технологическое парадигмы

В предыдущих главах мы обсуждали, как философы, ученые и инженеры одинаково конструируют идею о том, что компьютерное моделирование предлагает «новую эпистемологию» для научной практики. Под этим они подразумевали, что компьютерное моделирование вводит новые — и, возможно, беспрецедентные формы познания и понимания окружающего мира, формы, которых раньше не было. В то время как ученые и инженеры подчеркивают научную новизну компьютерного моделирования, философы пытаются оценить компьютерные симуляции с их философских достоинств. Истинность предыдущего утверждения не подлежит сомнению; последней, однако, более спорно.

Философы неоднократно приводили доводы в пользу новых компьютерных симуляций. Питер Галисон, например, защищает идею о том, что «физики и инженеры всерьез подняли Монте-Карло над низкими статистическими и словесными схемами расчета, [поскольку] он стал представлять собой альтернативную реальность — в некоторых случаях предпочтительнее той, над которой можно проводить «эксперименты». Доказано, что с самого начала самой сложной проблемой, когда-либо решаемой историей науки — конструирование первой водородной бомбы — Монте-Карло ввела физику в место, парадоксально смещенное от традиционной действительности, заимствованное как у экспериментальной теоретической области, связанной с этим заимствованием воедино и использовали полученный результат для создания маргинализированных Нидерландов, которые сразу окказались нигде и везде на обыкновенной методологической карте». (Галисон 1996, 119-120).

Естественно, Галисон не одинок в своих претензиях. К нему присоединились и многие другие, приводя доводы в пользу эпистемологической, методологической и семантической ценности компьютерных симуляций. Например, Фриц Рорлих — один из первых философов, найт и компьютерные симуляции на методологической карте, лежащей где-то между теорией и экспериментом. Он говорит, что «компьютерное моделирование обеспечивает [...] как естественное, новая и иная методология для естественных наук, и [...] эта методология лежит где-то посередине между традиционной теоретической наукой и ее эмпирическими методами экспериментирования и наблюдения. Во многих случаях речь идет о новом синтаксисе, который постепенно заменяет старый, и предполагает экспериментирование с теоретической моделью как естественным и интересным способом. Таким образом, научная деятельность достигла новой вехи, несколько comparable с вехами, положившими начало эмпирическому подходу (Галилей) и детерминистскому математическому подходу к динамике.

(ст арый синтаксис Ньютона и Лапласа). Следовательно, компьютерное моделирование значительней философский интерес» (Rohrlich 1990, 507, курсив оригинала). Авторы как Эрик Уинсберг, так же утверждают, что «компьютерные симуляции имеют четкую эпистемологию [...] Другими словами, методы компьютерных симуляций используют, чтобы попытаться для оправдания симуляций не похожи на то, что обычно выдается за эпистемологическую философию научной литературы». (Винсберг 2001, 447). Он также известен тем, что сказал, что «компьютерное моделирование — это не просто методы обработки чисел. Они включают сложную работу вывода, компьютеры служат для преобразования теоретических структур в конкретное конкретное знание о физических системах [...] Это процесс трансформации [...] имеет свою уникальную эпистемологию. Это эпистемология, которая незнакомы большинству философов науки» (Winsberg 1999, 275). Точно так же Пол Хамфрис считает, что компьютерное моделирование существует отчасти от того, как мы понимаем и оцениваем традиционные теории и модели (Хамфрис 2004, 54).

список авторов продолжает ся.

Наше рассмотрение эпистемических функций в главе 5 раскрывает большую часть той формы, которая компьютерное моделирование принимает за компьютерное моделирование. Как было представлено и обсуждено, компьютерное моделирование хорошо выполняет несколько эпистемологических функций, обеспечивая понимание данной целевой системы. Объяснение, предсказание, исследование, визуализация — лишь немногие из этих функций с особыми эпистемическими вкладами в научную инженерную практику. Однако можно было бы упомянуть и многие другие эпистемические функции. Подумайте о новых формах наблюдения и измерения мира с помощью компьютерных симуляций, способов оценки и доказательства в способах для подтверждения/опровержения научной гипотезы в том числе. Молекулярно-динамическое моделирование в химии, например, теперь может дать ценную информацию. Результаты эксперимента. Моделирование квантовых состояний позволяет ученым выбирать потенциально новые типы для конкретных целей, даже прежде чем сесть на лабораторный стол (например, набор инструментов Atomistix). Все эти виды использования функций компьютерного моделирования, в настоящее время довольно распространены в разумной степени критического и важны для прогресса современной науки и техники.

Мы также видели, что во всем больше случаев симуляций опережают эксперименты. Молекулярно-динамическое моделирование снова дает полезные примеры. Эти моделирования могут дать простые химические каталитические ионизированные промежуточные соединения и механизмы реакций, необходимые для различных сценариев возникновения жизни. Конечно, одни и те же модели помогают определить свойства огромных масштабов, компьютеры определяют наблюдаемые макроскопическая кинетика. При наличии этих симуляций эксперименты анонсируются более податливыми, так как моделирование помогает сузить количество используемых материалов, реакционные условия и конфигурации плотности. Кроме того, эти симуляции облегчают манипулирование ограничениями времени и масштаба длины компьютеры иначе ограничили бы молекулярные эксперименты. В этом отношении компьютерное моделирование дополняет научную инженерную практику, делая ее возможной.

В этом контексте некоторые компьютеры хорошо разбирающиеся в философии учеными утверждают, что компьютерное моделирование представляет собой новую парадигму научных и инженерных исследований. Первая парадигма — это теория и моделирование, тогда как вторая парадигма — будучи лабораторными и полевыми экспериментами. В этой главе мы обсудим, что это повлекло за собой назвать компьютерное моделирование третьей парадигмой исследования. Сходным образом,

Большие данные называют «четвертой парадигмой» научных исследований, что делает невозможным игнорирование симметрии при компьютерном моделировании. Из-за этого в этой главе я нарисуюnek оторые сходства и различия между одним и другим, с надеждой на понимание их масштабов и ограничений.

6.1 Новые парадигмы

Обозначение компьютерного моделирования как третьей парадигмы исследования имеет свое значение. Происхождение среди сторонников исследований больших данных. На самом деле сторонники компьютерного моделирования никогда не называли их таким образом, несмотря на значительные успехи в пользу компьютерного моделирования. Их научная и философская новизна.

Воспринимать компьютерное моделирование как парадигму исследования – независимо от его порядковое положение – добавляет некое давление к ожиданиям исследователей и широкая публика имеет на них. Физика задумана как парадигма для всех естественных происходящих явления, потому что он дает представление о таких явлениях. Электромagnetная теория, например, способна объяснить все электромагнитные и магнитные явления. Явлений, а общая теория относительности и обобщает специальную теорию относительности и изаконов Ньютона. Универсальное тяготение, обеспечивающее единое описание гравитации как геометрического свойства пространства и времени. Четвертая парадигма компьютерное моделирование и большие данные парадигмой, может подумать, должны иметь тот же эпистемологический вклад, что и физика, с точки зрения понимания они обеспечивают, а также их роль в качестве эпистемологического авторитета. Поэтому важно чтобы разговаривать о степени такого (заслуженного) титула.

Джим Грей предложил называть компьютерное моделирование и большие данные новыми парадигмами research¹ в выступлении перед Национальным исследовательским советом и Советом по компьютерным наукам и телекоммуникациям в Маунтин-Вью Калифорния, в январе 2007 г. Во время своего выступления Грей связал компьютерное моделирование и большие данные с существующие в современных исследованиях, то есть научная и инженерная практика стала от «поток данных». Метафора была призвана привлечь внимание к искиреним опасениям многих исследователей по поводу большого количества данных хранится, визуализируется, собирается и обрабатывается учеными и инженерами-практиками. Четвертая парадигма, австралийский Square Kilometre Array Pathfinder (ASKAP) состоит из 36 антенн, каждая диаметром 12 метров, разбросанных по 4000 квадратных метров, и работающая вместе как один инструмент, визуализирующая область

¹ По большей части я буду игнорировать порядковое положение парадигмы В этом отношении. Я остаюсь безответен на вопрос о том, существует ли как-то предполагаемая иерархия среди парадигмы. Как мы видели в главе 3, позитивист считает, что экспериментирование остается в первую очередь основной, подкрепляющей позицией теории, где теория важнее. После того как недостатки позитивизма были облачены новая волна экспериментаторов захлестнула либературу, покаяющаяся необъятную Вселенную. Эксперименталисты философов значе. Должны ли сторонники компьютерного моделирования и Big Data утверждать, что существует новый, улучшенный способ анимации науки и техники, и что теория и эксперимент отведены лишь второстепенная роль, они шли бы по одному и тому же пути. опасный путь как позитивист.

как 700 ТБ данных в секунду. Таким образом, поток данных возникает из-за чрезмерного производства и сбора данных, которые ни одна группа исследователей не может обработать, выбрать и понять без дополнительной помощи вычислительной системы. Это основная причина, по которой для работы с большими данными требуются специальные алгоритмы, помогающие отделить важные данные от неважных (например, шум, избыточность, неполные данные и т. д.).

В этом контексте важно прояснить понятие «парадигмы», используемое Греем и его сторонниками, потому что до сих пор нет достаточных определений. В частности, к этому термину нельзя относиться легкомысленно, особенно если он влияет на статус — культурный, эпистемологический, социальный — дисциплины, то, как его примет публика. В философии «парадигма» — это теоретический термин, связанный с конкретными предположениями. Таким образом, наша первая задача — прояснить значение «парадигмы» в контексте компьютерного моделирования и больших данных.

Прежде чем мы начнем, необходимо сделать одно предостережение. Ранее мы обсуждали гибридные сценарии, в которых компьютерное моделирование интегрируется с лабораторными экспериментами. В исследованиях больших данных мы сталкиваемся с похожей ситуацией. Большой адронный коллайдер (БАК) — хороший пример того, как интеграция, поскольку он изящно сочетает передовые достижения науки и техники с большими объемами данных, включая, конечно же, экспериментальную теорию междисциплинарную работу и компьютерное моделирование. Многие симуляторы на БАК предназначены для оптимизации вычислительных ресурсов, необходимых для моделирования сложных детекторов и датчиков, а также физики (Римолди, 2011). Другие, такие как современное моделирование Монте-Карло, рассчитывают сигнал бозона Хиггса. Стандартной модели и любые соответствующие фоновые процессы. Эти модели используются для оптимизации выбора событий, оценки их приемлемости и оценки систематических неопределенностей (Чатриандри, 2014). Эти симуляторы предназначены для получения больших объемов данных, которые в конечном итоге должны быть обработаны отобранными классифицированы. Таким образом, компьютерное моделирование и большие данные глубоко переплетены в процессе визуализации данных, их классификации и использования, среди других действий. В этой книге я намеренно избегал обсуждения гибридных сценариев, под которыми, которые предлагает БАК. Это решение основано на очень простой причине. Для меня, прежде чем мы сможем понять компьютерные симуляторы как гибридные системы, важно сначала понять их по отдельности. В то время как гибридные сценарии обеспечивают более полное представление, они также затемяют важные аспекты эпистемологического и методологического анализа. В связи с этим при обсуждении этой и четвертой парадигмы исследования буду обращаться к компьютерному моделированию и большим данным в негибридном сценарии.

Томас Кун — первый философ, глубоко проанализировавший идею «парадигмы» в научных исследованиях. Обсуждая, как парадигмы функционируют в науке, Кун отмечает, что «одна из вещей, которую научное сообщество приобретает с помощью парадигмы — это критерий для выбора проблем, которые, хотя парадигма принимает ся как должное, могут считаться имеющими решение. В значительной степени это единственные проблемы, которые сообщество призывает научными или поощряет к решению своих членов» (Kuhn 1962, 37). Называть компьютерное моделирование и большие данные парадигмой научной деятельности.

² Хотя в науке и технике есть несколько проектов, основанных на больших данных, их присутствие гораздо сильнее в таких областях, как исследования социальных сетей, эконимика и более правительств.

поиск имеет особое значение в том, как исследователи осуществляют свою практику, проблемы которых стоит решить, и правильные методы для достижения таких решений.

Что такое «парадигма»? Согласно Куну, любая зрелая наука (например, физика, химия, астрономия и т. д.) переживает чередование фаз нормальной науки (например, ньютоновской механики) и революций (например, эйнштейновского релятивизма). В период нормальной развития науки фиксируется совокупность обязательств, включающих теории, инструменты ценности и предположения. Они соответствуют «парадигме», то есть консенсусу относительно того, что представляет собой образец примеров хорошего научного исследования. Таким образом, функция парадигмы состоит в том, что она снабжает ученых загадками, которые они должны решить, и предоставляет инструменты для их решения (Bird 2013). В качестве примера Кун приводит химический баланс, найденный в «Трактате о химии» Антуана Лавуазье, математизация электрического поля Джеймсом Клерком Максвеллом и изобретение исчисления в Principia Mathematica Исааком Ньютонем (Kuhn 1962, 23). Каждая из этих книг содержит не только ключевые теории, но и принципы природы, но также — и именно это делает их парадигмами — руководство по применению эти теории для решения важных проблем (Bird 2013). Кроме того, они также предоставляют новые экспериментальные математические методы для решения таких проблем. Примеры такого рода уже упоминались: химический баланс для *Traité' el' ementaire de chimie* и исчисления для Principia Mathematica.

Кризис в науке возникает, когда теряется доверие ученых к парадигме. Из-за его неспособности или неспособности решить особенно тревожащую загадку. Это «аномалии», возникающие во времена нормальной науки. Такие кризисы обычно последовали научная революция, когда одна существующая парадигма была заменена другой. соперник. Во время научной революции дисциплинарная матрица (т. е. созвездие обязательств) подвергается ревизии, иногда даже сотрясающей до глубины души свод убеждений и мировоззрение. Такие революции обычно возникают из-за необходимости нахождения новых решений аномалий и возмущающих новых явлений, которые сосуществовали в рамках теорий в период нормальной науки. Классический пример — это прецедент перигелия Меркурия, который работал как подтверждающая позиция для общей теории относительности и ньютоновской механики³. Однако революции не обязательно влияют на научный прогресс, главным образом потому, что новая парадигма должна сохранять по крайней мере, некоторые основные аспекты его предшественника, особенно способность решать конкретные проблемы (Kuhn 1962, 160ff.). Однако возможно, что новая парадигма может устранить некоторые существенные объяснительные силы (Kuhn 1970, 20). В таком случае мы можем говорить, что в период революции в целом увеличивается количество решений головоломок. мощность, количество изложение головоломок, а также аномалий, решаемых пересмотренная парадигма (Bird 2013).

Таким образом, парадигма информирует ученых о масштабах и пределах их научной деятельности. Кроме того, время, что оно гарантирует, что все законные проблемы могут быть решены в течение своих условий. Таким образом, кажется, что компьютерные симуляции, ни Big Данные подходят под это описание. Во-первых, это методы реализующие теории и модели, но не теории сами по себе, и поэтому они не годятся для про

³ Прецедент перигелия Меркурия была объяснена общей теорией относительности примерно в 1925 году. с последовательными и более точными измерениями, начиная с 1959 года, хотя это был «аномальный» явление, известное еще в 1919 г.

наступил научный кризис. Могли бы они предложить теорию, которая ставит под сомнение наше базовое понимание, скажем, биологии? Вероятно, но в этом случае они не имели бы иного способа, чем эмпирически экспериментировать, используя для развенчания теорий о спонтанном зарождении сложной жизни из неживой материи.⁴ Можно, конечно, предположить, что компьютерное моделирование и большие данные могут стать сами по себе теорией как такового рода — или средством для теории. Верно, что некоторые философы объявили «конец теории», вводя большие данные, но мало доказательств того, что исследовательская практика действительно движется в этом направлении. Более того, изменения парадигмы происходят, когда новая парадигма не обладает той же объяснительной и предсказательной силой, что и старая, но при этом добавляет заботу об аномалиях, которые в первую очередь приводят к кризису. Большие данные, как мы увидим в этой главе, не только мало озабочены «накоплением» предыдущих парадигм, но и оторваны от верха многих из своих триумфов. Наиболее очевидным является отказ от необходимости объяснения явлений любого рода. Как признают многие сторонники больших данных, невозможно объяснить, почему происходят реальные явления, а только показывать, что они происходят.

Что же тогда имел в виду Грей, когда называл компьютерное моделирование и большие данные третьей и четвертой парадигмами соответственно? Начнем с того, что отметим его разделение научных парадигм на четвере исторических момента, а именно:

1. Тысячи лет назад наука эмпирически описывала явления природы
2. Последние несколько сотен лет теоретическое направление с использованием моделей, обобщений;
3. В последние годы появилось вычислительное направление, моделирующее сложные явления;
4. Сегодня: исследование данных eScience объединяет теорию эксперимента и моделирование
 - данные, полученные приборами или сгенерированные симулятором,
 - обрабатывает аппаратно, –
 - информация/знания хранятся в компьютере, – Ученые анализируют базу данных/файлы используя управление данными и статистикой. Серый (2009, XVII)

В соответствии с этой интерпретацией «парадигма» является не столько технической термином в том смысле, в каком его дал Кун, сколько набором последовательных исследовательских практик, включающих методы предположения и терминологию, которые разделяют сообщество ученых и инженеров, самих себя. Такая исследовательская практика не требует научной революции и не способствует ей. На самом деле, поскольку компьютерное моделирование и большие данные используют современные научные и инженерные стандарты теории и т. п., они, кажется, уже включены в парадигму. Однако от личительной чертой компьютерного моделирования и больших данных является механизация и автоматизация данных с помощью компьютеров, чего явно не хватало в первых двух парадигмах. Это означает, что методы использования и предлагаемые в третьей и четвертой парадигмах, существенно отличаются от экспериментирования с явлениями и теоретизирования о мире. Я буду называть компьютерное моделирование и большие данные «технологическими парадигмами» в попытке дистанцироваться от философской интерпретации «парадигмы», предложенной Куном. Давайте теперь посмотрим, сможем ли мы обратить ся в эти их новые технологические парадигмы.

⁴ Луи Пастер показал, что кажущееся самопроизвольное зарождение микроорганизмов на самом деле было связано с тем, что нефильтрованный воздух способствовал росту бактерий.

6.2 Большие данные: как заниматься наукой с большими объемами данных?

Как мы понимаем этот термин сегодня, большие данные⁵ относятся к большому набору данных, размер которого выходит далеко за рамки способности собирать, управлять и обрабатывать данные когнитивным агентом в течение разумного прошедшего времени. К сожалению не существует надлежащей концептуализации Больших Данных, понятие которых обычно определяется перечислением неких оторванных приписываемых характеристик, таких как большие, разнообразные, сложные, лонгитюдные и т. д. Основная проблема, связанная со списком характеристик, характеристик и атрибутов заключаются в том, что они не обязательно освещают концепцию Скэзат⁶, что у него чертёры неги, он пушистый и лаеет, не освещает понятие «собака». В частности, такие списки, как правило, заставляют не проливать свет на значение больших данных, поскольку к у мыне провалились ни на один шаг, определяя «большой» в терминах «большой», «разнообразный» и тому подобное. Необходимо лучший способ характеристик и больших данных.

В 2001 году Дуглас Лэйни предложил определение больших данных, основанное на том, что он назвал «трем V»: объем, скорость и разнообразие (Laney 2001). К сожалению это определение не сработало. Ни один из «V» не дает реального понимания понятия, практик и использования больших данных. Позже, в 2012 году, Марк Байер и сам Лэйни уточнили это определение как «информационные акты избытка большого объема, высокой скорости и/или большого разнообразия, которые требуют новых форм обработки, чтобы обеспечить более эффективное принятие решений, обнаружение идей и оптимизацию процессов». (Байер и Лэйни, 2012 г.). Лучшее подходит, но все еще не подходит. Роб Китчин еще больше расширил список характеристик и функций, из которых состоят большие данные, в том числе ислечерпывающий по объему, мелкозернистый по разрешению и уникально индексный идентификатор, реляционный, гибкий и т. д. (Китчин, 2014). К сожалению ни одно из этих определений не проливает на понятие больших данных больше света, чем простой список. Такие понятия, как «объем» и «разнообразие», не способствуют нашему пониманию «большого» и «большого». Пакет конфет может быть разнообразным и в большом объеме, но это ничего не говорит о самой конфете.

Но есть еще кое-что. Такие термины как «большой», «большой», «обильный» и другие, могут быть составными частями реляционного предиката, т. е. часть отношения сравнения: сто метров — это большой квартал улицы акнига в тысячу страниц — это большой акнига.

Но ни один из этих предикатов не является абсолютным. Стометровый квартал мог быть большим для немца, живущего в старом средневековом городе. Но это нормальный размер для гражданина Аргентины где больше шинство кварталов имеют длину около ста метров. Другими словами, то, что важно для вас, может не иметь большого значения для меня (Floridi 2012). Конечно это

⁵ Вольфганг Питшпредложил провести различие между большими данными и наукой, интенсивно работающей с данными. В то время как первое определяется в отношении к оличеству данных и их техническим проблемам, которые оно создает, наука, интенсивно работающая с данными, относится к «методам, помогающим оторвать обрабатываемые большие объемы данных. Далее следует различать методы сбора данных, хранения данных и анализа данных». (Питч, 2015). Это полезное различие для аналитических целей, поскольку оно позволяет философам делать выводы данных независимо от используемых методов; другими словами, отделить большие данные как продукт дисциплины для нас, однако, это различие является ненужным, поскольку мы заимствовали изучение методов сбора данных на фоне технических компонентов (например, скорость, память и т. д.). Аналогичное замечание применимо к понятию электронной науки Джима Грея, понимаемому как «место, где ИТ встречается с учеными» (Hey, Tansley, and Tolle, 2009, xviii). В дальнейшем, хотя я использую понятие «большие данные», «наука с интенсивным использованием данных» и «электронная наука» нечетко, читатель должен помнить, что это разные области.

не просто культурный или социальный фактор. Технологические изменения особенно ощущимы
к реляционным предиктам. То, что можно было считать «большими данными» в середине
1950-е, по общему мнению сегодня незначительны. Сравните, например, количество
данные о президентских выборах в США 1952 года, в которых использовался UNIVAC с
емкостью хранилища около 1,5 МБ на ленту, при скорости 700 ТБ/с, производимой австралийской компанией
Square Kilometer Array Pathfinder (ASKAP). Под эгидой обоих
будучи «большими», выборы США и ASKAP могут методологические и эпистемические рассматриваться как
номинальные, хотя, очевидно, это не должно быть. Уроки рисования здесь
заключаются в том, что простое перечисление свойств и атрибутов данных не дает понимания
в конце концов, практик и использования больших данных.

Прежде чем продолжить, давайте сделаем шаг назад и спросим: почему так важно
есть определение «больших данных»? Один из возможных ответов состоит в том, что от сутствие онцеггального
итеретинская спецификация этого понятия может иметь серьезные последствия в
регулирование технологических практик на индивидуальном, институциональном и государственном уровнях
зависимости. Рассмотрим следующее описание финансирования проектов
Национальный научный фонд (NSF): «Фраза «большие данные» в этом запросе
относится к большим, разнообразным, сложным, продольным и/или распределенным наборам данных, созданным
из инструментов, датчиков, интернет-транзакций, электронной почты, видео, потоковых клипов и/или
все другие цифровые источники, доступные сегодня и в будущем» (NSF 2012). Если что-нибудь,
это описание неясно и расплывчато, и оно не помогает уточнить, что представляет собой
Большие данные, их цели и ограничения, а также их назначение, являющиеся фундаментальной информацией для
поискатели и исполнители гранта. Кроме того, чрезмерное употребление синонимов не
дает само по себе разъяснение того, что относится к «большим данным» и к их общему объему. По сравнению
с документом, который заменил ходатайство двумя годами позже,
читаем снова с большой двусмысленностью «Фраза «большие данные» относится к данным, количеством
бросить в существующим методам из-за размера, сложности или степени доступности». (НСФ
2014). Интересно отметить, что в двух следующих ходатайствах – 2015 и
2016 г. — NSF исключил все ссылки на определение больших данных. В лучшем случае один
можно найти и утверждения, указывающие на то, что «хотя понятия объема, скорости и разнообразия
обычно приписываются проблемам больших данных, другие ключевые проблемные аспекты являются данными и
происхождения» (NSF 2016) в прямой ссылке на определение Лейни 2001 года. Эти запросы со стороны NSF
показывают, как трудно определить или даже четких характеристиковать
понятие больших данных.

Насколько мне известно, нет проблемного, всеобъемлющего определения
больших данных. Это факт, однако, кажется, не занимает большую часть специализированной литературы
Некоторые авторы утверждают, что новизна больших данных заключается в количестве
количество вовлеченных данных, считая это интуитивно понятным и достаточным
верная характеристика. В аналогичном смысле утверждалось, что большие данные относятся к
наборы данных, размер которых превышает возможности коммерческого программного обеспечения
базы данных для сбора, хранения, управления и анализа данных. Вместе с этим необходимо использовать
специальные устройства хранения и программного обеспечения. По своей сути, объем данных, связанных с диаграммой
от нескольких десятков терабайт до тысяч терабайт и даже выше. Естественно, эти циффы применяются по мере
того, как новые компьютеры входят в технологическую сферу.
сценарии обеспечивая большую скорость хранения и вычислительной обработки, поскольку разрабатываются
новые алгоритмы для сортировки и классификации данных, а также по мере того, как новые институты

а частные корпорации вкладывают деньги в оборудование и персонал для дальнейшего развития больших данных. Четыре десятилетия в реальных приложениях, предполагается, что каждый день генерируется около 2,5 экзабайт данных, то есть 2,5х10¹⁸ байт. Марк Либерман, профессор лингвистики и Пенсильванского университета, подсчитал, что объем памяти, необходимый для хранения всей человеческой речи, оцифрованной с частотой 16 кГц, 16-битного аудио, составляет около 42 зеттабайт —или 42х10²¹ байт —(Lieberman 2003). Кроме того, поскольку глобальное производство компьютерных данных растет с беспрецедентной скоростью согласно прогнозам, к 2020 году будет произведено не менее 44 зеттабайт, то есть 44х10²¹ байт (IDC 2014).⁶ Если

принять тот факт, что нет четкого определения того, что представляют собой большие данные, не должно означать, что мы можем выделить и выделить их конкретные характеристики. Очевидно, что само по себе количество данных действительно является отличительной чертой, которая позволяет нам более подробно обсудить методологию и эпистемологию больших данных. Кроме того, Сабина Леонелли замечательной статьей правильно указала, что новизна больших данных заключается в известности и истинности, приобретаемых данными в науке, а также в методах, инфраструктурах, технологиях и навыках, разработанных для обработки их данных. (Леонелли 2014). Леонелли правильно отмечает, что Большие данные возводят данные в статус «научного товара» в том смысле, что они приравнивают другие единицы анализа, такие как модели и теории, по их научной значимости. Она также права, говоря, что большие данные внедряют методологию, инфраструктуру, технологии и навыки, которых у нас раньше не было. Таким образом, большие данные —это просто количество данных, новые методы инфраструктуры, а также разработка новых технологий. Но, прежде всего, большие данные —это совершенно новый и иной способ заниматься наукой и понимать окружающий мир, очень похожий на компьютерное моделирование. Я полагаю именно это имел в виду Грей, когда называл компьютерное моделирование и большие данные новыми парадигмами научных исследований.

До сих пор наши усилия были сосредоточены на попытке конкретизировать большие данные. Давайте теперь посмотрим на его реальную практику в научной и инженерной областях. Краткая реконструкция больших данных будет включать не только практику и этапы сбора, не только этапы кураторства и не только этапы использования данных. Начнем с первого этапа, когда данные собираются различными вычислительными средствами.⁷ Пример

⁶ Есть исследования, которые связывают рост системной памяти с объемом хранимых данных. Огчет Министрства энергетики и США показывает, что в среднем на каждый 1 терабайт оперативной памяти приходится около 35 терабайт новых данных, сохраняемых в архив каждый год —фактически сохраняет более 35 терабайт на 1 терабайт, но 20 –В среднем за год удаляется 50 % файлов (Hick, Watson, and Cook, 2010).

⁷ Наш трактат о больших данных будет сосредоточен на научных целях. В этом отношении мы должны иметь в виду, что, хотя природа данных всегда вычислительная, они также имеют эмпирическое происхождение. Позвольте мне сделать небольшое отступление и пояснить, что я имею в виду под вычислительными данными эмпирического происхождения. В лабораторных экспериментах собранные данные могут быть получены непосредственно в результате манипулирования экспериментом, таким образом, путем сообщения об изменениях, измерениях, реакциях и т. д., а также с помощью лабораторных инструментов. Примером первого является использование чашки и Петри для наблюдения за поведением бактерий и прорастанием растений. Примером последнего является пузырьковая камера, которая обнаруживает электрически заряженные частицы движущиеся через перегретый жидкий водород. Большие данные в научных исследованиях получают свои данные из аналогичных источников.

приведенного выше ASKAP является хорошим примером. Там данные собираются одними массивом радиотелескопов и форматироваться таким образом, чтобы объединить их совместимыми с различными наборами данных и стандартными. Однако получение данных из одного набора инструментов не является типичным случаем для больших данных. Чаше всего находят несколько разных, скорее всего, несовместимых источников, способствующих пополнению баз данных. Можно подумать об объединении данных ASKAP, радиотелескопа для изучения происхождения галактик, с данными, полученными из обсерватории Атакама Токисского университета (ТАО), оптико-инфракрасного телескопа для понимания галактического центра (Yoshii et al., 2009)⁸. Для сбора данных необходимо убедиться, что они отформатированы таким образом, чтобы данные были совместимы с форматом данных, а также обеспечить надлежащую стандартизацию метаданных. Форматирование данных, а также стандартизация метаданных — трудоемкий и дорогостоящий процесс, хотя и необходимый для обеспечения доступности данных и возможности их анализа в конечном итоге как единого массива информации.

Вот где возникает первый набор проблем для больших данных. Наличие совокупности источников значительно усложняет проблемы обмена данными, их форматирования и стандартизации, курирования и возможного использования. Поскольку на это означает некоторые основные проблемами являются совместное использование, форматирование и стандартизация данных, давайте сначала сосредоточимся на них. Леонелли сообщает, что исследователям, которые хотят поделиться своими данными с базой данных, часто необходимо убедиться, что данные и метаданные, которые они представляют, совместимы с существующими стандартами. Это означает, что в их и без того напряженной повестке дня нужно найти время для получения обновленных знаний о том, что такое стандарты и как их можно внедрить (Leonelli 2014, 4). Если бы все было не так сложно, никакие академические круги, ни государственные и частные учреждения всегда ценили своих исследователей, которые тратят качественное время на такие усилия. В результате не приложенные усилия дают исследователям очень мало стимулов для обмена, форматирования и стандартизации своих данных с последующей потерей профессионального социальности и исследования.

Каким бы трудоемким и дорогостоящим был сбор данных, для того, чтобы больше данные стали реальностью, необходимо разрабатывать базы данных, инструменты, законодательство, долгосрочное финансирование исследований и обученный персонал. Этот момент подводит нас к следующему шагу в процессе работы с большими данными, когда многие из этих участников учатся в обработке данных (Бунеман и др., 2008). Как правило, кураторство заключается в создании онкологических

Как предполагает ASKAP, получают больше количественных данных путем сканирования неба, и в этом отношении данные имеют эмпирическое происхождение. Даже данные, собранные из социальных сетей, широко используемые социологами и психологами, можно считать имеющими эмпирическое происхождение. Чтобы проиллюстрировать эти способы сбора данных, давайте рассмотрим конкретный пример моделирования. При использовании последних методов данные создаются путем моделирования, а не собираются. Это не принципиальное различие, поскольку характеристики и эпистемологическая оценка и качество данных значительно различаются от метода к методу. Философов интересует природа данных и то, чем они отличаются (например, (Barberousse and Marion 2013), (Humphreys 2013b) и (Humphreys 2013a)).

⁸ Интересный случай связан с биомедицинскими большими данными, когда данные собираются из невероятно разнообразных и сложных источников. Как Чарльз Сафран и другие указывают, что эти источники включают «лабораторные автоматизированные анализы, аппаратные системы системных линий, естественной визуализации [...]», дополненные данными из систем, поддерживающих административные функции здравоохранения, такими как демографические данные пациентов, страховое покрытие, финансовые данные и т.д. ... к лингвистическим описательной информации, захваченная в электронном виде в виде структурированных данных или транскрибированная «свободный текст» [...] электронных медицинских карт» (Safran et al. 2006, 2).

решения от носитель данных, начавшая от того, как данные собирать, заканчивая их окончательной обработкой и документированием, включая также действия, как структурирование данных, обеспечение их качества данных и предоставление рекомендаций для исследователей, заинтересованных в больших наборах данных. Курирование данных — сложная и часто неблагоприятная задача, поскольку кураторы должны убедиться, что данные легко доступны для исследователей. Однако же очевидно, что кураторство предполагает отбор, таким образом, увеличение идентифицируемых данных. Наконец, что превращает процесс курирования в сложную противоречивую деятельность, так это то, что он часто не определяет способы использования данных в будущем. Несмотря на свою важность, как и сбор данных, курирование в настоящее время не вознаграждается в рамках академической и институциональной системы, следовательно, не очень привлекает для исследователей.

Как было сказано в предыдущем обсуждении, данные, которые становятся доступными через базы данных, не являются «невинными» данными. Он был выборочно собран, обработан и предоставлен исследователям с конкретными целями. Это, конечно, не означает, что они являются ненадежными данными, а скорее то, что они обязательны для взятых наугад характеристик — эпистемическими, когнитивными, социальными и моральными — которые должны быть выявлены на всеобщее обозрение перед их использованием. К сожалению, это последнее требование довольно трудно выполнить. Исследователи, как и любой другой человек, участвующий в жизни общества, культивируют набор предопределенных ценностей, которые они проецируют — иногда неосознанно — в свою практику. Интересно, что утверждалось, что большие данные противостоят риску предвзятости и при сборе, обработке и интерпретации данных. Это связано с тем, что наличие доступа к большим наборам данных повышает вероятность того, что предвзятость и ошибки будут автоматизированы и усугублены за счет «естественной» тенденции данных группироваться вместе — это то, что социологи и философы называют «триангуляцией». Таким образом, чем больше данных собирается, тем легче их сверять друг с другом и исключать данные, которые выглядят как выбросы (см. (Leonelli 2014; Denzin 2006; Alison 2002)).

Когда вопрос о больших данных сводится к использованию их данных, от ветры брошены во все направления в зависимости от дисциплины медицины (Costa 2014), исследования устных ислотов (Mahajan et al. 2012), биология (Callebaut 2012) и (Leonelli 2014), геномика (Чоудхури и др., 2014), астрономии (Эдвардс и Габер, 2014), и это лишь некоторые примеры использования больших данных в научных контекстах (см. также (Кричлоу и Дам, 2013)). В следующем разделе я расскажу об одном таком использовании в вирусологии. Помимо многих приложений больших данных, вопрос об их использовании — это преимущественно вопрос этики. Вопросы об использовании больших данных в медицине связаны с вопросами о согласии пациента и анонимности, а также о конфиденциальности и защите данных (Миттельштадт и Флориди, 2016а). Тот же вопрос о собственной деятельности и интеллектуальной собственности и о том, как отличить научные данные от коммерческих, являются фундаментальными вопросами этического характера. Ответы на эти вопросы могут нанести вред людям или способствовать новым открытиям. В этой книге я не буду обсуждать ни один из этих вопросов. Вопрос об использовании больших данных для меня является вопросом их эпистемологии. Что касается вопросов этики, то я констатирую усилия на гораздо менее развитой области этики компьютерных симуляций (см.

раздел 7). Однако для дальнейшего чтения по этим болезненным данным я рекомендую (Mittelstadt and Floridi 2016b), (Bunnik et al. 2016) и (Collmann and Matei 2016)9.

6.2.1 Пример болезненных данных

В недавней получившей признание книге Виктор Майер-Шёнбергер и Кеннет Цукер (2013) приводят прекрасный пример, который рисует полный портрет болезненных данных и их потенциально негативного использования в научных целях. История начинается в 2009 году с мировой эпидемии нового штамма гриппа А, H1N1/09. В подобных ситуациях своевременность и точность информации имеет решающее значение. Задержки и неточности могут стоить жизни, но и в данном конкретном случае грозят вспышкой пандемии. Органы общественного здравоохранения в США и Европе были слишком медленными, требовались дни и даже недели, чтобы получить информацию и выдать указания. Конечно, на это повлияло несколько факторов. Усугубление задержек. С одной стороны люди обычно не лечатся в течение нескольких дней до похода к врачу. Тогда органы здравоохранения бессильны посылать их записи и данные зависят от сбора общественной информации (т.е. из больниц, клиник и частных врачей), ни один из которых не связан с вмешательством в частную жизнь дома. Центры по контролю и профилактике заболеваний (CDC) в США и Европейская схема эпиднадзора за гриппом (EISS) основывалась на вирусологических и клинических данных, полученных из этих каналов, следовательно, информация, которую они хранили, была в основном неполной для точной оценки и указания. С другой стороны, передача информации из этих источников обратно в центральные органы здравоохранения может занять ужасно много времени. CDC опубликовал национальные и региональные данные еженедельно, как правило, с отставанием в 1–2 недели. Получение и ретрансляция информации была болезненным, неточным и очень медленным процессом. В результате информация о том, где произошла вспышка, а также точная карта потенциально распространенности в больницах в случае либо отсуствовали, либо были слишком ненадежны.

В феврале того же года, всего за несколько дней до того, как вирус попал в заголовки газет, группа инженеров Google опубликовала в Nature статью описывающую новый способ получения надежной информации, которая потенциально может предсказать вирус. Следующей вспышкой и вируса, а также предоставить точную карту распространения.

Он был известен как проект Google Flu Trends, который пропагандирует простой, но довольно новая идея (Ginsberg et al. 2009). По словам инженеров Google, текущий уровень еженедельной активности гриппа в США можно оценить, измерив относительную частоту запросов к интернет-запросов, которая, по мнению авторов, сильно коррелирует с процентом посещений врача, во время которой пациенты страдают гриппоподобными симптомами. Другими словами, они использовали миллионы игбайт интернет-запросов и сравнили их с данными CDC. Все это можно было сделать в удивительно короткое время одного дня. События ускорились, и если это продолжалось

⁹ Отметим, что эти технические вопросы поднимаемые в каждой из этих книг, не обязательно ограничиваются научное и инженерное использование болезненных данных, но они также распространяются на бизнес, общественные исследования, правительство и другие.

таким образом, органы здравоохранения смогут бороться со вспышками в разумные сроки и в рамках временных рамок.

По словам этих инженеров Google, «запросы веб-поиска Google можно использовать точно оценить процент ГПЗ [гриппа под обиходом заболевания] в каждом из девяти регионов общественного здравоохранения США» (1012). Письмо было сильным и привлекательным, и, конечно, все приняли к сведению. Такие авторы как Майер-Шонбергер и Цукер, утверждали, что «к тому времени, когда наступит следующая пандемия, мир будет иметь в своем распоряжении лучший инструмент для прогнозирования и, таким образом, предотвращения его распространения» (Mayer Schonberger and Cukier 2013, 10). Ожидания высоки, как и заинтересованность в успехе больших данных в научных дисциплинах.

К сожалению, большие данные почти полностью энтрузии и большие надежды породили эти сторонники и должны быть измерены. Во-первых, далеко не ясно, что Большой Данные могут быть использованы для «следующей пандемии», если не оторые характеристики и не являются общими, так как тип пандемии и способы получения информации. Большие данные зависят географически, экономически и социальны. Холера в настоящее время классифицируется как пандемия, хотя в развитых и промышленно развитых странах она встречается очень редко, и то, как он возникает и распространяется, довольно отличается от болезней ГПЗ. Кроме того, региональные постоянные риски заболеваний, такие как неоторые места в Африке и Юго-Восточная Азия, не имеют надлежательной технологической инфраструктуры для доступа в Интернет, не говоря уже о запросах помощи Google. Получение информации из этого имеет, скорее всего, соответствующим минимальным требованиям соответствия.

Конечно, можно было бы сосредоточиться только на успешных случаях больших данных. В таких случаях рассматривается допущение, что большие данные заменяют, а не дополнение к традиционному сбору и анализу данных. Это известное в сообществе как «высокомерие больших данных»¹⁰ и направлено на то, чтобы подчеркнуть, что история (относится к успеху) в каждом случае не является историей метода. Даже инженеры Google осторожны: чтобы предупредить нас, что система не предназначена для замены лабораторной диагностики и медицинского наблюдения. Более того, они признают, что поисковые запросы модель, используя Google Flu Trends, не предоставляет пользы, ставшимися с гриппоподобными симптомами и поэтому наблюдательные корреляции восприимчивы ложные предупреждения, вызванные внезапным увеличением запросов, связанных с ГПЗ. «Необычное событие, Например, отзв популярного средства от простуды или гриппа может вызвать такое ложное предупреждение». (Ginsberg et al. 2009, 1014), говорит Джереми Гинзберг, ведущий ученый, опубликовавший находки.

Хотя Google Flu Trends — это всего лишь один пример использования больших данных, по общему признанию не самый успешный, он все же хорошо демонстрирует преимущества больших данных. Данные, а также присущие им ограничения: большие данные не означают лучшую информацию, это просто означает большие данные. Более того, не все данные являются данными «хорошего качества». Это причина, по которой Ginsberg et al. разъясняют, что использование данных запросов поисковых систем не призвано заменить, но не заменить потребность в лабораторной диагностике и медицинском наблюдении. Надежные медицинские данные по-прежнему получают путем традиционного наблюдения.

¹⁰ Термин «высокомерие» обычно встречается в великих греческих трагедиях, описывающих личность героя.

как к райнйя и глупая гордыня или опасная самоуверенность, что состоит из сочетания с высокомерием. Поведение героя состоит в том, что выбросит вызов установленным нормам, бросив вызов богам, в результате собственного падения героя.

механизмы так же как простое обращение к врачу. Ожидаемое явление, связанное модели, используемой Google Flu Trends, заключается в том, что в ситуации паники и беспокойства здоровье людей вызовет всплеск запросов, связанных с ГПЗ, что повысит оценок и реальных инфицированных людей и возможных сценариев распространения. Это связано с тем, что запросы не ограничиваются пользователями, которые действительно испытывают гриппоподобные симптомы но скрываются людьми, которые публикуют правильный запрос. Таким образом, наблюдаемые корреляции не являются значимыми для всех популяций. Другими словами, система чувствительна к ряду ложных предупреждений, не все из которых можно отслеживать и устранить, что делает всю программу прогнозирования пандемии с помощью любых данных все еще ненадежной. Мы надеемся, что с правильными исправлениями и использованием Google Flu Trends, он обеспечит хорошее понимание картины распространения заболеваний, связанных с ГПЗ, а также как полезный инструмент для должностных лиц общественного здравоохранения, чтобы выявить более ранние и более обоснованные отечественные меры в случае реальной пандемии. С этой целью Google Flu Trends имеет теперь были переориентированы на предоставление данных учредителям, которые специализируются на исследованиях инфекционных заболеваний, чтобы использовать данные для построения собственных моделей.

Наконец, отметим, что Google Flu Trends процветает из разных источников данных. Чем пример ASKAP. В первом случае источники информации являются данные поиска этого запроса, в то время как в последнем источнике информации является астрономическая информация, предоставляемая радиотелескопами. В этом смысле эти два случая имеют много различий, таких как восприимчивость ложных срабатываний в случае отсутствия Google Flu Trends в ASKAP. Кроме того, один может доказать, что данные, используемые в Google Flu Trends, не имеют эмпирического происхождения, как ASKAP. Есть, конечно, и общие черты этих двух систем. Леонелли утверждает, что Майер-Шонбергер и Цукер рассматривают три основных новшества, принесенные большими данными, которые присутствуют в случае с Google Flu Trends. Как ASKAP. Первый — полнота, и он относится к утверждению, что накопление больших наборов данных позволяет различным ученым в разное время обосновывать их анализ по разным аспектам одного и того же явления. Во-вторых, беспорядок. Большие данные побуждают исследователей приветствовать сложную и многогранную природу мира, а не стремиться к точности и правильности, как это делает стандартная научная практика. На самом деле, по ее словам, точка зрения Майер-Шонбергер и Кукье исходит из того, что невозможно собрать большие данные способами, которые гарантированно будут точными и однородными. Заимствуя же идею Майер-Шонбергер и Цукер говорят: «Большие данные беспорядочно различаются по качеству и распределяются по бесчисленному количеству серверов по всему миру» (Майер-Шонбергер и Цукер, 2013, 13). В-третьих, и, наконец, наступает «триумф корреляций», т.е. новый вид науки (т.е.

наука, выросшая из больших данных), руководствуясь статистическими корреляциями между данными ценностями, а не причинность (Leonelli 2014).

Это хорошее место, чтобы задать следующий вопрос: а что у Большого Данные, связанные с компьютерным моделированием? С одной стороны и в целом они оба имеют две общие опоры. Это вычислительный столб, который включает в себя учет скорости вычислений, емкость для хранения данных и обработки больших объемов данных; и когнитивный столб, который включает разъясняющие методы для предоставления, проверки, агрегирования и перекрестных ссылок наборов данных. На другой стороне большие данные и компьютерное моделирование имеют мало общего. Это особенно верно, когда речь идет об эпистемологических и методологических утверждениях. Мы уже

сказал что-то о вычислительных и когнитивных столпах как для больших данных, так и для компьютерного моделирования. Интересный вопрос сейчас заключается в том, как выразить их, оторвав от личаго больше данные и компьютерное моделирование. Другими словами, что делает их двумя различными технологическими парадигмами?

6.3 Борьба за причинность: больше данные и компьютерное моделирование

Желаемой целью любого научного метода является обеспечение знаний и понимания окружающего нас мира. Если эти знания и понимание даются быстро, как в случае с Google Flu Trends, то это, безусловно, предпочтительнее. В любом случае любой метод должен предоставлять средства для понимания того, как устроен мир, иначе он будет малоинтересен для научных и инженерных целей. Возьмем в качестве примера наши предыдущие рассуждения о сравнении компьютерных симуляций с лабораторными экспериментами в главе 3. Почему философы рождают себя обсуждением этих вопросов? Одна из главных причин заключается в том, что нам необходимо предоставлять средства, гарантирующие в разумных пределах, что результаты компьютерного моделирования, по крайней мере, столь же надежны, как и наши лучшие современные методы исследования мира, то есть с помощью экспериментов. Аналогичные рассуждения применимы к теории и моделям, как обсуждалось в главе 2.

Основная черта экспериментирования, которую акцентирует больше часть практиков моделирования, заключается в том, что она раскрывает причинно-следственные связи. Например, антенна, разработанная Арно Пензиасом и Робертом Уилсоном, первоначально разработанная для обнаружения радиоволн, в конечном итоге обнаружила космическое микроволновое фоновое излучение. Как так оно могло произойти? Истории довольно увлекательная, но для нас важно то, что так же как космическое микроволновое излучение взаимодействовало с антенной. Это, конечно, произошло не без того, что опытные попытаться устранили другие потенциальные источники и причинного взаимодействия, так же как земные помехи — шум, исходящий из Нью-Йорка, — а также помет летучих мышей и голубей.

Причина, по которой утверждения о причинно-следственных связях лежат в основе доверия к научным и инженерным методам, заключается в том, что они служат своего рода гарантией наших знаний и понимания мира. Многие философы возражали причинно-следственные связи и —или причинность — как бульжники для любого научного предприятия. Философ Джон Л. Мак и даже называл причинность «целом вселенной» (Mackie 1980).

Как показывает пример Пензиаса и Уилсона, экспериментирование имеет решающее значение для науки и техники именно потому, что оно помогает раскрыть причинно-следственные связи, существующие в мире. Давайте вспомним из главы 3 центральное место причинности в дискуссиях об экспериментальной принадлежности компьютерных симуляций. Мы видели, что если мы можем показать наличие причинно-следственных связей в компьютерных симуляциях, то их можно рассматривать на равных условиях как эксперименты. В случае, если это невозможно, то их гносеологическая оценка отсрочена от раскрытия. В разделе 3 мыотносилисьнодолгообсуждали причинные побуждающие неотрыв философов полагать, что в компьютерных симуляциях отсутствуют причинно-следственные связи, и что это означает для их эпистемологических предположений.

оценок а. Происходит ли причинность от непосредственного взаимодействия с миром, как и в стандартном экспериментировании — или представлении причин — например, в теориях, моделях и компьютерных симуляциях — способность идентифицировать причинно-следственные связи является ключом к научнотехническому прогрессу. Это верно в любом случае, если исключить Большой Данные. Утверждалось, что в больших данных корреляция преобладает над причинно-следственной связью гониме для познания мира...

Майер-Шонбергер и Кьюке — два влиятельных автора, которые решительно проповедуют необходимость убрать причинно-следственную связь в ящик стола, а исследователям — принять корреляцию в качестве новой цели научных исследований. Для них совершенно бесполезно направлять усилия по открытию универсального механизма вывода причинно-следственных связей из Больших Данные. В конце концов, все, что нам нужно, чтобы быстрая эпистемическая удовлетворенность большими данными имеют высокую корреляцию (Mayer-Schonberger and Cukier, 2013).

Один из вопросов, на который мы хотим ответить здесь, заключается в том, могут ли большие данные, как их изображают Майер-Шонбергер и Кьюкер, хорошо работать с простой корреляцией, или же необходимо вернуть причинно-следственную связь в общую картину научных и инженерных исследований. Я считаю, что мы должны как-то отказать от причинно-следственной связи, главным образом потому, что так идет (высокой) ценой. Начнем с некоторых разъяснений.

Основное различие между причинностью и корреляцией состоит в том, что первая берет за основу закономерность в природном и социальном мире, которая стабильна и постоянна на всем протяжении времени и места. Корреляция, с другой стороны, является статистической оценкой, которая измеряет отклонения между двумя заданными значениями данных. Например, нет существующих причинно-следственных связей между игрой в футбол и разбитием окон, несмотря на высокую корреляцию, которая была у нас в районе моего детства. Однако существует причинная связь между футбольным мячом, попавшим в окно моего соседа, и тем, что последний ворвался в куски. Причинность, как мы понимаем здесь этот термин, сообщает нам истинные причины по которым и как-то происходит. Корреляция, напротив, только говорит нам кое-что о статистическом отклонении между двумя или более точками данных.

Из предыдущего примера не следует делать вывод, что корреляция не является надежной. Источники знаний. Исследования по автострахованию например, показывают, что мужчины водители имеют более сильную корреляцию с автостраховочными авариями, чем водители-женщины и поэтому страховые компании, как правило, берут с мужчин больше, чем с женщин, за свою страховку. Причинно-следственной связи между водителем-мужчиной и провокаторией, конечно же, нет. Несчастный случай, ни быть женщиной-водителем, ни быть без опасным водителем. Высокая корреляция, для таких случаев вполне достаточна. ...

Не это ли имеет в виду Майер-Шонбергер и Кьюкер, когда в больших данных ратуют за корреляцию а не за причинность? Не совсем. По мнению этих авторов, поиск причинно-следственных связей — очень трудная и отвлеченная задача сама по себе — требует всякого привлекательности с исключением увеличением доступных данных о данном явлении. Вспомним из предыдущего раздела, когда мы обсуждали «всеобъемлемость» и «беспорядок» данных. В то время как первое относит к простому количеству данных, второе подчеркивает роль неточных данных. Вместе, как заявляют Майер-Шонбергер и Цукье, они создают необходимый эпистемологический фон, чтобы предпосылкой высокой корреляции а не причинности. Как это возможно? Рассуждение идет следующим образом: корреляция состоит из при измерении статистической связи между двумя значениями данных, а данные точны

то, что исследователи имеют в виду (т.е. тезис о полноте¹¹). Это означает, что исследователи могут найти очень высокие и стабильные корреляции в наборе данных, в то время как простой и быстрый способ. Более того, исследователи знают, что корреляция может по-прежнему оставаться высокой, даже если имеют дело с неточными данными, поскольку у одного из них есть доступ только для компенсации любых неточностей, обнаруженных в данных (т.е. тезис). Таким образом, причинность становится древностью юродивым солнцем больших данных, поскольку к исследователям больше не нужно находить действующие причинно-следственные связи, чтобы объяснить претензии о данном явлении. Примером, который освещает это рассуждение, является Google. Тренды гугла снова. В представленном виде инженеры Google смогли найти высокие корреляции среди данных, несмотря на то, что некоторые запросы исходили от людей, испытывающих обычный грипп, а некоторые вообще не болеют. Большой объем собранных данных компенсирует любые неточности, скрытые в этих нескольких запросах. Естественно, беспорядок тезис, который позволяет нам игнорировать несколько вводных заблуждений вопросов, предполагает, что процент таких запросов ничтожен. В противном случае корреляция все еще может быть высокой, но неправильных результатов.

Как я упоминал ранее, Майер-Шонбергер и Цукер правы в отношении преимуществ поддержки корреляции, при определенных обстоятельствах, над причинно-следственной связью И они обильно предоставляют примеры успешных случаев. Но я также предупредил, что их идеи должны быть в надлежащем контексте, чтобы быть применимыми. Большие данные в автотранспорте примеры берутся из использования больших данных в крупных корпорациях и большем правительстве. Хотя преимущество, которое Big Data предоставляет для этих сфер современной общества неоспоримо, они не отрицают использование и потребность в больших данных в научном и инженерном контекстах. Действительно, корреляция кажется правильным окончательным инструментом для поиска релевантных связей между нашими поведенческими тенденциями и будущим выбором —как это произошло в случае Amazon.com (101) —и наши финансовые рейтинговые рейтинги с нашим личным поведением —как показывает The Fair Isaac Corporation с использованием Большие данные (56). Но когда встает вопрос об использовании больших данных для научных и инженерных целей, причинность, кажется, вновь обретает свое первоначальное значение. Позвольте мне объяснить почему.

Одна из основных проблем в торговле корреляцией по сравнению с причинно-следственной связью заключается в том, что первая не может точно сказать исследователям, почему что-то происходит, а скорее что или что —бывает. Майер-Шонбергер и Цукер призывают это с самого начала, облекая эти идеи в следующую форму: «если мы сможем сэкономить деньги, зная лучшее время для покупки билета на самолет, не понимая, в чем заключается безумие с ценами на авиабилеты, это достаточное хорошо. Большие данные о том, что, а не почему» (14 —Курсив в оригинале).¹²

Таким образом, согласно Майеру-Шонбергеру и Цукеру, большие данные предназначены для объяснения того, почему что-то происходит, а для того, чтобы предложить предсказания и описательные значения. Это можно рассмотреть как серьезное ограничение для методологии, которая является парадигмой научных исследований. Физика без

¹¹ Есть даже утверждение, что количество данных соответствует самому явлению. То есть, данные —это феномен (Mayer-Schonberger and Cukier, 2013).

¹² Авторы конечно же знают, насколько важна причинность в науке и технике. В этом отношении они говорят: «Нам по-прежнему требуются причинно-следственные исследования и контролируемые эксперименты, чтобы лучше понять описательные данные в определенных случаях, например, при проектировании важной части самолета. Но для многих повседневных потребностей достаточно знать, что не работает» (191 —Курсив в оригинале).

способность объяснить, почему планеты вращаются вокруг Солнца, не продвигает наше понимание Солнечной системы. Тот же эволюционистов и креационистов — их кузенов, сторонников разумного замысла — отличает именно их способность объяснять болшую часть окружающего нас биологического и геологического мира.

Хорошим примером эволюции является изменение окраски и популяции перелетных бабочек в результате промышленной революции. В доиндустриальную эпоху подвляющее большинство этих бабочек имели светлую окраску, которая служила им камуфляжем от хищников. Подсчитано, что до промышленной революции темный вариант — меланхора — составлял 2% видов. После промышленной революции численность населения претерпела глубокие изменения: до 95% имели темную окраску. Лучшее объяснение того, почему произошло это изменение, связано с адаптацией бабочек к новой окружающей среде, а именно с загрязнением. Пример предстает собой крупный сдвиг, вызванный мутациями вида, обосновывающий идею изменения естественного отбора. Эпистемологическая сила эволюционной теории заключается в том факте, что она может объяснить, почему это произошло, а не только то, что это произошло.

Потеря объяснительной силы может быть слишком высокой для любой методологии, которую провозглашает себя наука. В разделе 5.1.1 мы обсуждали, как объяснение может считаться подлинной эпистемологической функцией компьютерных симуляций в той мере, в какой они обосновывают их как надежные методы познания и понимания мира. Это, конечно, не означает, что от больших данных следует отказаться как от подлинного метода познания мира. Он предостерегает от того, чтобы привлечь внимание к ограничениям, которые большие данные имеют как метод научного и инженерного исследования.¹³ Рассмотрим один случай, на этот раз из области инженерии. 28 января 1986 года космический шаттл «Челленджер» развалился на 73-й секунде своего полета и окончательно рассыпался над Атлантическим океаном. В результате катастрофы унесла жизни семи членов экипажа. Ричард Фейнман во время слушаний в «Челленджер» показал, что резина, используемая в уплотнителях колец шаттла, становится менее эластичной в ситуациях, когда кольцо подвергается воздействию низких температур. Фейнман продемонстрировал, что, сжав образец уплотнителя кольца в зажиме и погрузив его в ледяную воду, кольцо никогда не восстановит свою первоначальную форму. Имея эти доказательства, комиссия могла определить, что катастрофа была вызвана тем, что первичное уплотнительное кольцо не было должным образом уплотнено в необычно холодную погоду января 1986 года.

Этот второй пример показывает, что поиск правильных причинно-следственных связей и, таким образом, возможность дать подлинное объяснение — это вопрос, касающийся не только науки, но и техники. Мы высоко ценим науку и технику именно из-за их убедительной силы для понимания и изменения мира. Нахождение правильных причинно-следственных связей является одним из основных факторов, способствующих достижению цели. Так что, когда Майер-Шенбергер и Цукье возражают, что установление причинно-следственных связей является трудной задачей, это не следует воспринимать как причину, по которой они не начинают их охоту. Иногда Джим Грей назначает большие данные четкой парадигмой исследований, он призывает нас принять ее новизну, а также осознать ее ограничения. Ни один выискивающий метод в научной и

¹³ Можно было бы отказаться от причинности, не являющейся необходимой для объяснения, и что при наличии правильной объяснительной структуры большие данные могут дать подлинные объяснения. Насколько мне известно, так ая объяснительная структура до сих пор отсутствует.

инженерные исследования обладают такой силой, которая может освободить исследователей от традиционных теорий и экспериментов.

С другой стороны, понятие причинности и или причинно-следственных связей действительно трудно определить. Можно было бы предположить, что все истинные закономерности являются причинными от ношениями. К сожалению, это не случается. Многие известные закономерности не имеют никакой причинно-следственной связи. Ночь следует за днем, как день следует за ночью, но ни то, ни другое не является причиной. Более того, можно предположить, что все законы природы так или иначе причинны. Но здесь так же кроется еще одно разочарование. Закон Кеплера о движении планет описывает орбиту планет, но не предлагает причинного объяснения этих движений. Точно так же закон идеального газа связывает давление с объемом и температурой. Оно даже говорит нам о том, как эти величины изменяются в зависимости друг от друга для данной пробы газа, но ничего не говорит нам о существующих между ними причинных отношениях.

Философы науки и интерпретировались причинность юна протяжении веков. Аристотель, пожалуй, самый древний и известный философ, обсуждавший понятие и природу причинности (Falcon 2015). Дэвид Хьюм, с другой стороны, был известен своим скептическим взглядом на причинность, который считал ее «обычаем» или «привычкой», порождаящей идею необходимой связи (De Pierris and Friedman 2013). Конечно, существует множество различных философских интерпретаций причинности, простирающихся от древней истории до наших дней.

Возможно, самый интересный способ интерпретировать причинность состоит в том, что бы рассматривать ее как именную акцию о физическую особенность. Возьмем, к примеру, футбольный мяч, снова ударивший в окно. В этом примере мяч физически взаимодействует с окном, разбивая его. Для сторонних наблюдателей причинность и два объекта причинно связаны, когда происходит обмен физической величиной, такой как импульс, от одного к другому¹⁴. Это.

К сожалению, не все причинно-следственные связи в науке и технике так или иначе зависят от обмена физической величиной. Рассмотрим, например, следующее предложение: «Прогулывает ешкольного возраста в ванные комнаты работягами». В таком случае трудно, если вообще возможно, установить физическую причинно-следственную связь между прогулками и потерей работы. В таких случаях философские попытки абстрагироваться от «физичности» казуальных отношений и делать акцент на репрезентативном уровне (Woodward 2003). Именно эта последняя интерпретация позволяет компьютерным симуляциям использовать понятие причинности, а большие данные — бороться с ней.

Возможно, иногда спасти и причинно-следственную связь в больших данных, таким образом, сохранить наш общий взгляд на научную практику? Чтобы ответить на этот вопрос, мы должны сначала прояснить, как обнаруживается причинность в этих двух технологических парадигмах. Причинные модели существуют в научной практике, и они регулярно реализуются в виде компьютерных систем. Общая характеристика этих моделей заключается в том, что они точно но представляют при определенных условиях набор причинно-следственных связей, играющих роль в целевой системе.¹⁵

¹⁴ Яркими примерами являются (Salmon 1998), (Dowe 2000) и (Bunge 2017).

¹⁵ Полный отчет об этой интерпретации причинности см. в (Pearl 2000).

Однако это не имеет значения, которое мы придаем здесь. Для вопросов о причинно-следственной связи, что объясняет смысл как для компьютерного моделирования, так и для больших данных, нам нужно как-то поставить их в равное положение. Поскольку у больших данных — это не реализация моделей, а работа с большими объемами данных, то единственной способ говорить о причинно-следственных отношениях, релевантных для обеих парадигм, — это когда мы берем причинно-следственные связи, выведенные из данных. Для такого случая есть алгоритм реконструкции или так их причинно-следственных связей по большому количеству данных. В дальнейшем мы сосредоточимся только на обсуждении алгоритмов для больших данных, но то, что сейчас актуально здесь, может также относиться к компьютерному моделированию при условии, что сокращение учитывается количеством данных. В этом контексте единственное отличие между компьютерным моделированием и большими данными зависит от объема данных, которое каждый ручки.

В начале 1990-х годов возник ожесточенный интерес к закреплению открытия причинно-следственных связей в данных. По сути, проблема состоит в том, что объясняет алгоритм, который правильно определяет причинно-следственные связи, существующие в больших объемах данных. Проиллюстрировать как исследователи обычно знают о причинно-следственных связях, рассматривают случайные случаи вреда здоровью человека. Медицинские исследования показывают, что более Известно, что в табачном дыме содержится 7000 химических веществ, по крайней мере 250 из них являются вредными. Из 250, по крайней мере 69 могут вызывать рак. Эти химические вещества, вызывающие рак, включают ацетальдегид, ароматические амины, мышьяк и т. д. (Министерство здравоохранения и здравоохранения США). Услуги 2014). Как обычно получают такую информацию? Национальный Рак Институт сообщает, что их результаты основаны на имеющихся доказательствах, полученных проведение стандартных медицинских испытаний.¹⁶ В таком случае исследователи имеют в своем распоряжении обширный корпус научных знаний наряду с хорошо зарекомендовавшими себя экспериментальными методами, на основании которых они получают достоверную информацию о химических веществах, которые нанесут вред здоровью человека. Рассмотрим снова Google Flu Trends. Могли ли исследователи, врачи и органы общественного здравоохранения делать вывод о существующих причинно-следственных связях, которые связывают штамм H1N1/09 с большим набором данных? Тогда, вопрос о том, что На карту поставлено, существует ли алгоритм, который мог бы воссоздать причинно-следственные связи, существующие между гриппом А и запросами данных? Этот вопрос на самом деле сохраняет учение инженера иголок, потому что главный триумф больших данных будет способствовать и причинно-следственные связи из данных не экспериментальными средствами. Ответы на этот вопрос, однако, разделился между исследователями и философами.

В 1993 году Питер Спиртес, Кларк Глимури и Ричард Шейнс (далее SGS) представили свой взгляд на то, как вывести причинно-следственные связи из данных в книге, которую они назвали Причиной, предсказание и поиск. Там они утверждают, что нашли метод для выявления причинно-следственных связей на основе данных, не требующее как-либо предположений. Это означает, что ученые и инженеры смогут сделать вывод причинно-следственных связей из собранных данных, просто запустив специальный алгоритм, учитывая

¹⁶ Интересно отметить, что Национальный институт рака выделяет четыре категории причинно-следственных связей, зависящих от силы имеющихся доказательств. Это «уровень 1: доказательства достаточны, чтобы сделать вывод о причинно-следственной связи», «уровень 2: данные наводят на размышления, но недостаточны для вывода о причинно-следственной связи», «уровень 3: данные недостаточны для вывода о наличии или отсутствия причинно-следственной связи» (который включает в себя разрозненные, неочевидные или противоречивые доказательства) и «уровень 4: доказательства предполагают отсутствие причинно-следственной связи» (Министерство здравоохранения и социальных служб США, 2014 г.).

меньше своих предыдущих знаний о данных или их причинной структуре. Как и ожидалось, такой алгоритм оказался достаточным сложным, сочетая теорию графов, статистику, философию и информатику.

Конечно, алгоритм SGS не был первой попыткой ввести причинно-следственную связь на основе данных. Обычные методы включают линейный анализ данных, регрессионный анализ, моделирование и факторный анализ среди других существующих каузальных методов современной эконетрики и социологии. Однако SGS заявила, что их метод лучше. SGS особенно критиковал регрессионный анализ на том основании, что с точки зрения его причинной структуры—его причинных утверждений—невозможно проверить, поскольку он не влечет за собой никаких ограничений в данных. В более общем плане SGS выделяет три проблемы, присущие традиционным методам. Первый, они неправильно идентифицируют каузальные гипотезы, исключая каузальные гипотезы, наконец, включая множество гипотез, не имеющих каузального значения. Второй, специфика или распределения обычно вынуждают использовать численные процедуры оторванные от истинных или чуждыми причинами. И третьи, ограничения на поиск в пространстве данных обычно приводят к одной гипотезе, что не дает результата для вывода альтернативных гипотез, которые могут быть верными для того же самого пространства данных.

Принципиальное отличие алгоритма SGS от обычных попыток состоит в том, что ни один из последних факторов не позволяет идентифицировать правильную причинно-следственную структуру. Кроме того, в лучшем случае, они способны обнаруживать модели ассоциаций, которые не обязательно имеют каузальную структуру. Для каждого из этих методов общая стратегия неудовлетворительна, так как цель состоит не только в определении предполагаемого распределения, но также в выявлении причинно-следственной структуры и предсказании будущего причинно-следственные связи и переменных. Утверждается, что алгоритм SGS соответствует всем этим.

В этом контексте компания SGS разработала алгоритм под названием TETRAD17. Теперь о TETRAD, чтобы добиться успеха, авторам необходимо было обратить внимание на три ключевых элемента. Во-первых, представление о причинно-следственной системе достаточной точностью для математического анализа, необходимого быть явным. Во-вторых, было важно обобщить их точку зрения, чтобы избежать сироты широкий спектр научной практики, что бы понять возможность и ограничения для отрыва каузальных структур. И третьи, они должны были охарактеризовать вероятности, предсказанные причинно-следственной гипотезой, при заданном вмешательстве (3).

В результате SGS смогла предложить алгоритм, связывающий причинно-следственные структуры с ориентированным графом вместе с вероятностями, присвоенными каждой вершине графика. Кроме того, авторы утверждали, что алгоритм касается отрыва каузальных структур как в линейных, так и в нелинейных системах, системах с обратной связью без нее, случаях, когда принадлежность к наблюдаемым выборкам зависит от исследуемых переменных и не только от других случаев (4). Что касается подробности о Алгоритме TETRAD, я предлагаю обратиться к непосредственно обратным к нему SGS и веб-сайт¹⁸. Здесь не место для явного вероятностного математического аппарата. Краткий обзор возражений, с которыми SGS столкнулась, однако, имеет значение.

¹⁷ Для актуальная версия из алгоритма TETRAD, <http://www.phil.cmu.edu/tetrad/current.html>

¹⁸ См. <http://www.phil.cmu.edu/projects/tetrad/>

Несколько лет спустя после публикаций книги SGS Пол Хамфрис и Дэвид Фридман выступили с рядом возражений, стремясь показать, что SGS не выполняла то, что они заявляли ((Humphreys 1997) и (Freedman and Humphreys 1999)). Ядро возражений Хамфриса и Фридмана имеет два источника. С одной стороны анализ SGS ориентирован на технические детали, которые не отражают значение причинно-следственной связи. На самом деле, согласно Хамфрису и Фридману, причинно-следственная связь в алгоритмах предполагается, но никогда не указывается: «прямые причинно-следственные связи могут быть представлены релаксами, когда данные соотносятся с другим графом причинно-следственных связей, который генерирует данные» (116). Другими словами, причинно-следственная связь определяет структуру и значения причинно-следственной связи с небольшой добавленной стоимостью. Второе возражение основано на отсутствии удовлетворительного решения реальных проблем статистического вывода, вытекающих из несовершенных данных.

Представленное выше очень краткое обсуждение реконструкции причинно-следственных связей по данным делает очевидным один важный для нас момент, а именно существование серьезных проблем для выявления причинно-следственных структур в компьютерной науке. Как утверждалось, ни данные, полученные в результате компьютерного моделирования и о причинно-следственных структурах, которые исследователи не владеют, ни данные из больших данных не могут быть легко использованы для вывода причинно-следственных связей.

Возможно, требуется более индивидуальное решение. В этом отношении одним из немногих защитников каузальности в больших данных является Вольфганг Питч, который в недавней статье отстоял каузальный характер моделирования в больших данных (Pietsch 2015). Питч вводит и анализирует несколько алгоритмов, заключая, что они способны идентифицировать каузальную релевантность на основе элиминативной индукции и связанного с ней каузального učета, определяющего различия. Это означает, что феномен исследуется при систематическом изменении потенциально релевантных условий, чтобы установить причинную релевантность — или причинную нерелевантность — так их условий. Согласно Питчу, это должно быть сделано от носителя неопределенного контекста или фона, определяемого дополнительными условиями (Pietsch 2015). Таким образом, автор предполагает, что каузальная релевантность условия может быть определена методом различия. В своей основе метод сравнивает два примера причинных отношений, которые различаются только условиями и совпадают во всех остальных обстоятельствах. Если в одном случае условие α является присутствием, а в другом — отсутствием, то α причинно релевантно. Один из способов определить это — приерживать следущего контекстуальное утверждение: если бы α не произошло, Θ не произошло бы. Следуя нашему примеру в медицине, можно сказать, что если бы не было курения, не было бы рака.

Я, конечно, упрощаю причинно-следственную связь. Когда вы углубитесь в детали, можно узнать, что может предложить эта учебная запись, а также ее ограничения. Обсужденные выше проблемы представляют собой лишь один пример того рода трудностей, которые разделяют эти две парадигмы научного исследования. Интересно, что на самом деле можно найти больше различий, которые отличают компьютерное моделирование и большие данные. Одно из таких отличий, с которыми все согласны, заключается в том, что симуляционные исследования последствия математической модели, в то время как большие данные стремятся найти структуры в больших наборах данных. Это, в свою очередь, помогает нам определить диаметрально противоположные источники, из которых исследователи собирают данные. То есть, в то время как компьютерное моделирование создает большие объемы данных из заданной модели, большие данные воссоздаются структурами данного явления из больших наборов данных. Еще одно отличие состоит в том, что способность

Способность каждого предсказывать, подтверждать и наблюдать данное явление различна. В то время как компьютерное моделирование обычно основывается на эпистемологических функциях на предположениях модели, Большие данные опираются на набор методов и процессов курирования, лежащих в основе структурных данных. Поэтому методологический подход к ним разный.

Таким образом, исходная точка у них разная. В то время как компьютерное моделирование реализует и решает имитационную модель, большие данные исследуют набор данных. Это приводит к окончательному различию, а именно, характерных выводов о целевой системе. В компьютерном моделировании обычно получают следствия модели моделирования, тогда как Большие данные в основном основаны на индуктивных выводах.

6.4 Заключение и основные замечания

Когда Джим Грей называл компьютерное моделирование и большие данные соответствующим третьим и четвертым парадигмами, я полагаю, что он предвидел будущее научных и инженерных исследований. В своем последнем выступлении перед тем, как он пропал без вести в море в 2007 году, он сказал: «Мир наук изменился, и в этом нет никаких сомнений. Новая модель предназначена для сбора данных с помощью инструментов или генерирования с помощью моделирования перед их обработкой программным обеспечением, а полученная информация или знания должны храниться в компьютерах. Ученые получают возможность просматривать свои данные довольно поздно в этом конвейере». (Грей 2009, xix).

Компьютерное моделирование, вне всякого сомнения, зарекомендовало себя как фундаментальный инструмент для продвижения и развития научных и инженерных исследований. В этой главе я попытаюсь критически подойти к компьютерному моделированию и большим данным, показав их исследовательскую программу и то, как они различаются по ключевым вопросам. Я осознаю, что коснулся только поверхности двух методов, глубоко углубившихся в текущем и будущем состоянии наук и инженерных исследований. Тем не менее, пусть эта глава станет небольшим вкладом в гораздо более широкую дискуссию.

Рекомендации

Элисон, Уайли. 2002. Думая о вещах: очерки философии археологии.

Калифорнийский университет Press.

Барберус, Ану и Вормс Марион. 2013. «Компьютерное моделирование и эмпирические данные». В книге «Компьютерное моделирование и меняющееся лицо научных экспериментов» под редакцией Хуана М. Дюрана и Эдварда Арнольда. Издательство Кембриджского университета.

Бейер, Марк и Дуглас Лэйни. 2012. «Важность «больших данных»: определение». Гартнер.

- Птица, Александр. 2013. «Томас Кун». В Стэнфордской энциклопедии философии
phy, осень 2013 г., под редакцией Эдварда Н. Залты
- Бунеман, Питер Джеймс Чейни, Ван-Чью Тан и Стэйн Вансаммерен. 2008.
«Курящиеся базы данных». В материалах Двадцать седьмого симпозиума ACM SIGMOD
SIGACT-SIGART по принципам систем баз данных, 1–12. PODS
08. Нью-Йорк, штат Нью-Йорк, США: ACM.
- Бунге, Марио. 2017. Причинность и современная наука. Рутледж.
- Банник, Анно, Энтони Коули, Майкл Малкуин и Андрей Цвиттер. 2016. Большие
Проблемы с данными: общество, безопасность, инновации и этика. Спрингер.
- Каллебаут, Вернер. 2012. «Научный перспективизм: от вет философии науки и на вывоз биологии
больших данных». Исследования по истории и философии науки и Часть С: Исследования
по истории и философии биологических и
Биомедицинские науки и 43 (1): 69–80. [http://www. наукапрямая .
ком/наука/статья/pii/S1369848611000835](http://www.наукапрямая.ком/наука/статья/pii/S1369848611000835).
- Чатриан Сергей, Хачатрян В., Сирунян А.М., Тумасян А., Адам В.,
Т. Бергауэр, М. Драгичевич, Дж. Эро, К. Фабьян, М. Фридрих. 2014. «Измерение свойств
базы данных Хиггса в чешском репозитории».
Физическое обозрение Д 89 (9): 1–75.
- Чоудхури, Супарна, Дженнифер Р. Фишман, Мишель Л. Макгоуэн и Эрик Т.
Юнгст. 2014. «Большие данные, открытая наука и мозг: уроки, извлеченные из
геномика». Доступ 13. Декабрь 2017 г., *Frontiers in Human Neuroscience* 8 (239).
[https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.
2014.00239/полный](https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fnhum.2014.00239/полный).
- Коллманн, Джефф и Сорин Адам Матей, ред. 2016. Этическое обоснование больших данных:
Исследовательский анализ. Спрингер.
- Коста, Ф. Ф. 2014. «Большие данные в биомедицине». *Открытие наркотиков сегодня* 19 (4): 433–
440.
- Кричлоу, Теренс и Кристиан Кливан Дам, ред. 2013. Наука, интенсивно работающая с данными
вс. Чепмен / Холл / CRC.
- ДеПьеррис, Грасиела и Майкл Фридман. 2013. «Квантовый причинность». В Стэнфордской
энциклопедии философии под редакцией Эдварда Н. Залты
(Зимнее издание 2013 г.). [https://plato.stanford.edu/archives/
win2013/записи/квант-причинность/](https://plato.stanford.edu/archives/win2013/записи/квант-причинность/).
- Дензин, Норман К. 2006. Социологические методы Справочник. Альдин Трансак
ция.
- Доу, Фил. 2000. Физическая причинность. Издательство Кембриджского университета.

- Эдвардс, Кирани и Мохамед Медхат Габер. 2014. Астрономия и большие данные. Подход к кластеризации данных к выявлению неопределенной морфологии галактик. Спрингер.
- Сокол, Андреа. 2015. «Аристотель о причинности». В Стэнфордской энциклопедии Философии под редакцией Эдварда Н. Залты (Весеннее издание 2015 г.). <https://plato.stanford.edu/archives/spr2015/entries/aristotle/scientific-causality/>.
- Флориди, Лучано. 2012. «Большие данные и их эпистемологическая проблема». Философия и технология 25 (4): 435–437.
- Фридман, Дэвид и Пол В. Хамфрис. 1999. «Существуют ли алгоритмы раскрывающие причинно-следственную структуру?» Синтез 121 (1): 29–54.
- Галисон, Питер. 1996. «Компьютерное моделирование и торговая зона». Разобщенность наук и границы компетенции власти: 119–157.
- Гинзберг, Джереми, Мэттью Х. Мохебби, Раджан С. Патель, Линнетт Браммер, Марк С. Смолинский и Ларри Бриллиант. 2009 г. «Выявление эпидемий гриппа с использованием данных запроса поисковой системы». Природа 457 (7232): 1012–104.
- Грей, Джим. 2009. «Джим Грей обзектронной науки: преобразованный научный метод». В Четвертая парадигма под редакцией Тони Хей, Стюарта Тэнсли и Кристин Толле, XVII–XXI. Редмонд, Вашингтон: Microsoft Research.
- Привет, Тони, Стюарт Тэнсли и Кристин Толле, ред. 2009. Четвертая парадигма: Научные открытия с интенсивным использованием данных. Корпорация Майкрософт.
- Хик, Джейсон, Дик Уотсон и Дэнни Кук. 2010. HPSS в эпоху экстремальных масштабов: Отчет в Управление науки и Министерстве энергетики США о HPSS в 2018–2022 гг. Департамент Энергия.
- Хамфрис, Пол В. 1997. «Критическая оценка алгоритмов обнаружения причин». В «Причинность и кривизна»: Статистический метод и поиск причинно-следственных связей в социальных науках, под редакцией Вона Р. МакКима и Стивена П. Тернера, 249–263.
- . 2004. Расширение себя: вынужденная наука, эмпиризм и научный метод. Издательство Оксфордского университета.
- . 2013а. «Анализ данных: модели или методы?» Основы науки и 18 (3): 579–581.
- . 2013б. «О чем данные?» В книге «Компьютерное моделирование и меняющееся лицо научных экспериментов» под редакцией Хуана М. Дюрана и Эдварда Арнольда. Издательство Кембриджского университета.

- ИДЦ. 2014. «Цифровая вселенная возможность: Богатые данные и растущие ценности Интернет вещей». По состоянию на 11 декабря 2017 г. <https://www.emc.com/leadership/digital-universe/2014iview/исполнительное резюме.htm>.
- Китчин, Роб. 2014. «Большие данные, новые эпистемологии и сдвиг парадигм». Большие данные & Общество 1 (1): 2053951714528481.
- Кун, Т.С. 1962. Структура научных революций. Чикагский университет.
Нажмите.
- . 1970. «Логика открытия или психология исследования?» В критике и Рост знаний, под редакцией Имре Лакатоса и Алана Масгрейва, 4: 1–24.
Издательство Кембриджского университета.
- Лэйни, Дуг. 2001. «МЕТАДЕЛТА». Стратегии доставки и приложений 949 (февраль 2001): 4.
- Леонелли, Сабина. 2014. «Какая разница в количестве? Эпистемологии больших данных в биологии». Большие данные и общество, нет. 1: 1–11.
- Либерман, Марк. 2003. «Зетталь лингвистика».
- Мак, Дж. Л. 1980. Цепь Вселенной. Издательство Оксфордского университета.
- Махаджан Р.Л., Р. Мюллер и С.Б. Уильямс, Дж. Рид, Т.А. Кэмпбелл и Н. Рамакришнан. 2012. «Развитие новых технологий и технологий черного лебедя». Международный конгресс и выставка машиностроения ASME 6: 549–557.
..
- Майер-Шонбергер, Виктор и Кеннет Цукер. 2013. Большие данные: революция Это изменит то, как мы живем, работаем и думаем. Суд Хоутон-Миффлин-Харпер.
- Миттельштадт, Брент Даниэль и Лучано Флориди. 2016а. «Этика больших данных: текущие и прогнозируемые проблемы в биомедицинском контексте». Наука и техника Этика 22 (2): 303–341.
- . 2016б. Этика биомедицинских больших данных. Спрингер.
- НСФ. 2012. «Основные методы технологий для развития наук и о больших данных. \& Инжиниринг (БИГДАНИЕ)». NSF 12-499. <https://www.nsf.gov/pubs/2012/nsf12499/nsf12499.htm>.
- . 2014. «Важнейшие методы технологий для развития наук и о больших данных. нсф. ence \& Engineering (BIGDATA)». NSF 14-543. <https://www.gov/pubs/2014/nsf14543/nsf14543.htm>.
- . 2016. «Критическое методы технологий и методологии для развития основ и приложений наук и техники о больших данных (BIG DATA)». NSF 16-512. <https://www.nsf.gov/pubs/2016/nsf16512/nsf16512.htm>.

Перл, Иудея. 2000. Причинность. Модели, рассуждения и выводы. Кембриджский университет версия Press.

Питч, Вольфганг. 2015. «Причинная природа моделирования с использованием больших данных». Философия и технология 29 (2): 137–171.

Римольди, Адель. 2011. «Стратегии моделирования для {vphantom}ATLASvphantom{} Экспериментальной {vphantom}LHCvphantom{}». В журнале Physics: Conference Series, vol. 331. Издательство ИОП.

Рорлих, Фриц. 1990. «Компьютерное моделирование в физических науках». Философия Научной ассоциации 2: 507–518.

Сафран, Чарльз, Мерил Блумрозен, В. Эдвард Хаммонд, Стивен Лабкофф, Сьюанна Маркел-Фокс, Пол С. Танг и Дон Э. Детмер. 2006. «На пути к национальной стратегии для улучшения использования данных о здоровье: Американская медицинская информатика». Белая книга Ассоциации. Журнал Американской ассоциации медицинских информатиков 14 (1): 1–9.

Лосось, Уэсли С. 1998. Причинность и объяснение. Издательство Оксфордского университета. ISBN: 978-0-19-510864-4, по состоянию на 4 августа 2016 г.

Спиртес, Питер, Кларк Глимури и Ричард Шейнс. 1993. Причина, предположение, и Поиск. Массачусетский технологический институт. Пресс.

Министерство здравоохранения и социальных служб США. 2014. Последствия для здоровья курения — 50 лет прогресса: отчет главного хирурга — США. Министерство здравоохранения и социальных служб. Центр по контролю за заболеваниями и Профилактика, Национальный центр профилактики и хронических заболеваний и укрепления здоровья. Управление по вопросам курения и здоровья. Атланта, Джорджия.

Винсберг, Эрик. 1999. «Моделирование: эпистемология моделирования». наука в контексте 12: 275–292.

———. 2001. «Моделирование, модели и теории: сложные физические системы и их представления». Философия наук и 68 (S1): S442. ISSN: 0031-8248.

Вудворд, Джеймс. 2003. Заставить вещи происходить. Издательство Оксфордского университета.

Йоши, Юзуру, Кентаро Мотохара, Такаши Мията и Нацуко Митани. 2009. «1-метровый телескоп обсерватории Акама начал научную работу, обнаружив линию излучения водорода из центра Галактики в инфракрасном диапазоне Свет." А. <http://www.su-tokyo.ac.jp/en/press/2009/15>. HTML.

Глава 7

Этика и компьютерное моделирование

Единственная цель этой главы—задать следующий вопрос: существует ли этика, возникающая в контексте компьютерного моделирования? Чтобы правильно ответить на этот вопрос, нам необходимо изучить специализированную литературу, чтобы увидеть, как подходили к этим вопросам. Первая проблема, с которой мы сталкиваемся, — это вопрос о том, существует ли такая этика на самом деле, или, скорее, могут ли моральные проблемы в компьютерных симуляциях подходить к более привычным этическим рамкам. Авторы занимающиеся общим использованием компьютеров, уже отвечали на этот вопрос отчасти, но, привлекая к надлежащей оценке компьютерной этики. Здесь интересно отметить симметрию нашими предыдущими исследованиями по эпистемологии и методологии компьютерного моделирования, особенно с предостережением во введении обсуждением их философской новизны. Можно предположить, что это часть процесса внедрения новой технологии в научные и инженерные исследования, которая вызывает недоумение у философских скептиков.

К сожалению было сделано очень мало работы чтобы полностью решить эти вопросы, чтобы приспособить ее к компьютерному моделированию. Только что горстка авторов обратилась к вышеуказанному вопросу за истинностью. В этой главе я представляю обсуждающих и их точки зрения. В связи с этим расскажу о проблемах, связанных с надежностью компьютерных симуляций — тема, которая на данный момент нам знакома, — о репрезентации и профессиональной практике. Из этих трех подходов только последний не зависит напрямую от эпистемологии и методологии компьютерного моделирования, и поэтому я посвящу больше времени более подробному обсуждению профессиональной практики и этики скептического компьютерного моделирования. Я также воспроизведу и обсужу официальный кодекс этики для исследователей компьютерного моделирования.

7.1 Компьютерная этика, инженерная этика и этика в науке

За последние двадцать или около того лет возрос интерес к пониманию этики в контексте компьютеров. Такой интерес происходит из повсеместного места, которое компьютеры занимают в нашей повседневной жизни, а также из-за их присутствия в научных и

инженерная практика. «Компьютерная этика», как она известна сегодня, представляет собой раздел прикладной этики, сосредоточенный на проблемах, поднимаемых компьютерами, имела трудное начало. Из всех сил пытались утвердиться как самостоятельная дисциплина.

Одна из основополагающих статей по компьютерной этике была написана Джеймсом Х. Муром и появился в 1985 году под названием «Что такое компьютерная этика?» (Мур 1985). В

то время исследователи прикладной этики твердо верили, что появление новых технологий, таких как компьютер, не ставит новых моральных проблем.

столкнувшись с довольно сложными проблемами этики, которые могут быть применены эти технологии одинаково хороши.¹ Никто даже всматривался в этику для компьютеров, предлагая этику стиральных машин и этику автомобилей. Скоро стало ясно, что нет никаких их реальных оснований для сравнения приборов и средств транспорта с компьютерами.

Но вернемся к компьютерной этике. Задача Мура была двоякой. На одной стороне он должен был показать, в каком именно от ношении проводились этичные исследования. В свое время не достигал доучет компьютеров. С другой стороны ему пришлось показать, как компьютеры внесли на обсуждение новые и подлинные этичные проблемы. Мавра стратегия заключалась в анализе характера и социального воздействия компьютерных технологий, и соответствующую формулировку и обоснование политик и этичных использования этих технологий. Его беспокойство в основном политический вакуум, который компьютеры представляли подразумевать, как это часто бывало в то время, что не было ни правил, ни политик и проектирования, программирования и использования программного и аппаратного обеспечения.

Чтобы представить идеи Мура в перспективе, действительно есть случаи, когда компьютер является просто дополнением к моральной проблеме, и поэтому ее можно было бы решить с точки зрения стандартных этичных теорий личности и общества. Для примера, что нельзя растить компьютер. В этом отношении анализ не будет начинаться от личностей от кражи стиральной машины или автомобиля. Но у Мавра было что-то другое в виду. Для него проблем компьютерной этики возникли из-за того, что не было этичных рамок, которые указывали бы как компьютерная технология должна использоваться, а также как должны вести себя пользователи, производители, программисты вообще все, кто участвует в разработке программного и аппаратного обеспечения. Как он убедительно «Центральная задача компьютерной этики состоит в том, чтобы определить, что мы должны делать в такой ситуации. случаях, т. е. формулировать политику, которой мы будем руководствоваться в своих действиях. Конечно, не оторвав этичные ситуации от известных нам как индивидуумам, а не оторвав — как общество. Компьютерная этика включает рассмотрение как личной, так и социальной политики и этичных использования компьютерных технологий» (266). Как оказалось, он предвидел многие этичные вопросы в центре этики и компьютерного моделирования (см. раздел 7.3.2).²

Таким было скромное начало компьютерной этики. Мавр в основном обсуждался революционное присутствие компьютеров в нашей повседневной жизни, как отдельных лиц, учреждений, правительств и общества. Но так было до публикации Деборы Джонсона «Компьютерная этика» (Johnson 1985), что эта тема привлекла больше внимания.

¹ Различия между этикой и моральной асторо формулируют в том смысле, что этика есть наука.

морали, тогда как мораль есть практика этики. В то время как мораль — это совокупность ценностей и стандартов этики является формальным изучением и кодированием этих стандартов. Я этого не сделаю различие здесь. Вместо этого я буду относить к обоим понятиям неразличимо.

² Другой автор, предвосхитивший большую часть современных дискуссий, это (McLeod 1986).

город Кэмпбелл, считающаяся теперь классической, Джонсон также способствовала обоснованию существования уникальности компьютерной этики. В отличие от Мура, которому она привалась, что заложила основу для этого вопроса, основные интeресы Джонсон были сосредоточены на вопросах, связанных с Интернетом, конфиденциальностью и правами собственности. Возьмем, к примеру, понимание конфиденциальности в эпоху Интернета. Примером Джонсона являются компании, такие как Amazon, которые утверждают, что им необходимо хранить информацию своих клиентов, чтобы лучше обслуживать их. Вопрос здесь в том, действительно ли отправка информации о выпуске новых книг является услугой, предоставляемой компанией?

утверждали еще в середине 1990-х, или это было как им-то в торжестве в чистую жизнь, предоставляя, скорее всего, клиентам явно не запрашивали такую информацию. Так понял, Джонсон утверждает, что «бремя доказывания лежит на защитниках конфиденциальности, которые должны доказать, что это есть, что-то вредное в сборе и обмене информацией или что-то там есть» не оторвать пользу от ограничения сбора информации» (119). Проблемы, связанные со сбором больших объемов данных для целей, отличных от «предоставления обслуживания» явно не стояли на столе еще в 1990-х годах. Сегодня этические вопросы, которые поднимают такие компании, как Amazon, Google и другие, на самом деле закладываются в том, они формируют наш интернет-книжки, фильмы, музыку и, в конечном счете, ко всему это касается нашей личности, в том числе наших политических взглядов³.

Таким образом, исследования по компьютерной этике делают акцент на вопросах о том, как действовать с использованием компьютера может быть морально хорошим или плохим в зависимости от его мотивов, последствий, универсальности и разнообразия характера. Понимаемые таким образом, эти исследования имеют широкий спектр тем, от использования компьютеров в правительстве и для его использования в нашей личной жизни. Это означает, что они не обязательно сосредоточены исключительно на научное и инженерное использование компьютеров, не говоря уже о компьютерном моделировании. Позвольте мне объяснить это. Например, исследования по вопросам конфиденциальности и прав собственности влияют на использование компьютеров в научном и инженерном контексте. Собственность обычно рассматривается как механизм управления данными, который легко включать в себя случаи данных из медицинского тестирования и тестирования на наркотики. Проблема, возникающая в этом контексте — это различие между академическими и общедоступными данными, с одной стороны и коммерческими данными, с другой. Это различие позволяет исследователям, отделив медицинские или учебные режидения сохранять реалистичные ожидания от ношения потенциально использования и последствий их данные (Lupton 2014). Таким образом, этические опасения по поводу прав собственности влияют на использование компьютеров в научной и инженерной практике.

Однако нас здесь беспокоят моральные вопросы, вытекающие из использования использования компьютеров в научном и инженерном контексте, а не эксплуатация или из других областей или областей. Примером этого являются моральные проблемы адаптированные к предсказанию компьютерных симуляций (7.2.2). Опасения, которые возникают в этом контексте, закладываются в том, возможно, использовать на использовании компьютерного моделирования.

³ Исследования больших данных представляют собой новое классическое место в вопросах, касающихся этики и последствий для компаний, работающих с большими объемами данных. Случаи успешного использования Big-Data см. работы (Mayer-Schonberger and Cukier 2013) и (Marr 2016); а о философском трактате см., среди прочего, (Zwitter 2014), (Beranger 2016) и (Mittelstadt and Floridi 2016). Мы могли бы также упомянуть множество учебных режидений — правил собственности, образовательных и в чистом секторе. — которые создаются для понимания компьютерной этики. Отличным примером этого является Оксфорд. Институт Интернет и чистый Оксфордского университета.

В этот момент мы должны спросить, существует ли раздел компьютерной этики, который касается моральных проблем, возникающих в контексте компьютерных симуляций? Удивительно, но количество статей, опубликованных по этике с использованием компьютерного моделирования, очень мало.

Как мы увидим в следующем разделе, я представляю возможно, три основных аргумента в пользу этичности компьютерного моделирования, достаточных в специализированной литературе.

В первом обсуждается работа Т. Дж. Уильямсона, инженера и архитектора, который представляет этические проблемы компьютерного моделирования, рассматривая их эпистемологические проблемы. В этом отношении он удачно связывает наши прошлые дискуссии об эпистемологии и методологии компьютерного моделирования с моральными соображениями. Второе исследование принадлежит философу и члену Международного общества этики и информационных технологий Филипу Брейделу. Он делает интересный вывод о том, что важный аспект этики компьютерных симуляций происходит из их способности (исключать) представление целевой системы. Поскольку у такового (неверное) представление может иметь несколько форм, отсюда следует, что на каждую из них возлагается определенная профессиональная ответственность. Наш третий обсуждение основано на большом количестве литературы, написанной Тансером Ореном, Андреасом Тёлком и другими.

Орен — обученный инженер, много работавший над определением этических проблем в компьютерном моделировании. Он также был главным консультантом по работам в этой области для исследователей и практиков компьютерного моделирования (см. раздел 7.3).

Мы знаем, что компьютерное моделирование состоит в себе два основных компонента, а именно информатику и общую науку или инженерию в зависимости от того, что моделируется. Это говорит о том, что любое исследование этики компьютерного моделирования должно включать эти два или три элемента. Иными словами, вопросы вытекающие из этики компьютеров, а также этики в науке и технике, поднимают этические исследования компьютерного моделирования. Мы обсудили компьютерную этику, очень кратко представив некоторые основные проблемы, возникающие в этой области. Прежде чем подробно обсудить современные подходы к этике компьютерного моделирования, давайте кратко рассмотрим, что об этике в науке и технике.

Исследования по этике в науке и технике касаются различных вопросов, связанных с профессиональным поведением исследователей, тем, как они выполняют свою работу из эксперименты и последствиями, которые являются продуктами экспериментов для общества. Теперь, когда большая часть повседневной работы исследователя может выполняться без каких-либо видимых этических последствий, есть несколько положений, предлагаемых этическими исследованиями, которые требуют надлежущую научную инженерную практику, а также этические рамки, в которых можно поместить последствия их практики. Ключевые темы включают фальсификацию данных, обманно происходящую, когда исследователи хотят более энергично и с большей убедительностью выдвигать определенные гипотезы.

В качестве примеров можно привести и подделку кожных трансплантатов Саммерлином в 1974 г. и происхождение экспериментов по изучению рака Спекторином в 1980 и 1981 гг. Точно так же фальсификация данных происходит, когда результаты изменяются, чтобы соответствовать предполагаемым результатам исследования. Сообщалось о случаях фальсификации результатов младшим исследователем, потому что на нее оказывали давление, что она дублировала результаты своего консультанта. Примером этого является фальсификация результатов исследований инсулиновых рецепторов Зоманом в период с 1978 по 1980 год. Можно выделить и другие проблемы, связанные с этикой в науке и технике: плагиат, неправомерное поведение/воровство, клинические испытания и др.

7.2 Обзор этно- и компьютерного моделирования

205

подробный анализ этих вопросов см. (Spier 2012). Работы Адама Бриггса и Кэри Митчелла также играют ключевую роль в исследованиях этно- и научных исследований (Briggles и Митчелл, 2012). Далее я представляю обсуждение отрывков из этих вопросов в контексте этно- и компьютерного моделирования.

7.2 Обзор этно- и компьютерного моделирования

7.2.1 Уильямсон

Позвольте мне начать с (Williamson 2010), чьи работы хотя и более более поздний, чем Оуэн и Брей, имеют то преимущество, что они сконцентрированы ближе к нашим последним обсуждениям надежности этно-компьютерных симуляций — см. главу 4.

Главный мотив, который приводит к созданию этно-компьютерного Уильямсона, заключается в том, что компьютерное моделирование может помочь улучшить жизнь людей, а также внести вклад в устойчивую окружающую среду сейчас и в будущем. Несмотря на столь оптимистичные идеалы Уильямсон предостерегает от обсуждения этно-компьютерных проблем с негативной точки зрения. В частности, Уильямсон утверждает, что эпистемологическое утверждение о надежности этно-компьютерных симуляций могут привести к ложным впечатлениям о точности — и, следовательно, о легитимности — ведущих к окончательным, к аморально неприемлемому использованию этно-компьютерных симуляций, например, к неправильному принятию решений и ошибочное распределение ресурсов. Другими словами, эпистемология этно-компьютерного моделирования допускает вопросы о точности этно-компьютерного. В этом контексте Уильямсон подчеркивает, что сочетание эпистемологических опасений по поводу точности и достоверности этно-компьютерных симуляций и составление моральных проблем этно-компьютерных симуляций. Давайте сначала проанализируем их по очереди, а потом посмотрим, как в совокупности они вызывают моральные опасения Уильямсона.

Согласно Уильямсону, точность или достоверность имитационной модели понимается как степень, в которой модель соответствует явлениям реального мира при проверке. Чтобы обосновать точность модели моделирования, Уильямсон полагается на стандартные методологии эмпирической проверки, «которые сравнивают смоделированные результаты с измеренными данными в реальном мире», аналитическая проверка, «которые сравнивают выходные данные моделирования из программы подпрограммы алгоритма или программного объекта с результатами извещенного аналитического решения или набора квантитативных решений», и интермодальное сравнение, «которые сравнивают результаты одной программы с результатами другой аналогичной программы (программ)» (404). Большинство дискуссий по этому вопросу уже рассматривались в разделе 4.

В отличие от точности или валидности, которые по существу являются вопросами, адаптированными к имитационной модели, критерии достоверности тесно связаны с элементами имитационной модели. Данная проблема. То есть это зависит от постановки и правильных вопросов для правильного использования моделирования. Пример иллюстрирующий критерии достоверности, приводит к основанию компьютерного моделирования характеристик окружающей среды в зданиях. При этом моделировании исследователям всегда необходимо задавать конкретные вопросы, связанные с оптимальным уровнем теплового комфорта жильцов и минимальные значения энергозатрат (405).

Все эти вопросы предполагают наличие более или менее последовательной структуры убеждений, к которой заложена достоверность моделирования. Точнее, Уильямсон.

предполагает, что достоверность компьютерных симуляций можно определить, задав четыре вопроса о релевантности.

- Огсутствие: должно ли знание отсчитываться (или присутствовать)?
- Путаница: есть ли искажение в определении знания?
- Неопределенность: как степень достоверности имеет значение?
- Неточность: насколько точно должны быть знания? Неважно, потому что недостаточность или излишняя точность? (Уильямсон 2010, 405)

Имя в руке эти идеи, Уильямсон предлагает следующую структуру для надлежащего понимания этих проблем, возникающих в контексте компьютерного моделирования.

Достоверность (и отсчитывание)

Согласно Уильямсону, достоверность использования моделирования происходит из двух источников. С одной стороны достоверность моделирования зависит от его точности или достоверности. Действительно, неточное моделирование не может дать знания (см. обсуждение в разделе 4.1), а потому становится источником разного рода этих источников безопасности. На самом деле, согласно Уильямсону, существует прямая зависимость между точностью и правдоподобностью и точностью компьютерная симуляция, тем больше доверия. Это.

С другой стороны доверие зависит от власти, способной санкционировать корреляция между симуляционной моделью и ее результатами и реальным миром (406). В этом отношении Уильямсон говорит, что «доверия не будет, если моральная ответственность (если не юридическая ответственность) за применение результатов моделирования не будет принята на всех уровнях» (406). Под «всеми уровнями» он понимает роль эксперта, санкционирующего надежность моделирования. Интересно отметить, как Уильямсон делает четкое различие между точностью обеспечиваемой конкретными, специалистами зависимые методы (также как методы верификации и валидации), от экспертного мнения. Хотя большинство авторов в литературе не считают экспертов надежными источниками для санкционирования компьютерных симуляций, Уильямсону не нравится ограничивая доверие только к математическим методам. Он настаивает на том, что объективный фундаментальный роль в моделировании до такой степени, что «рефлексивные судьи [...] [что] должно быть включено» (406).

Однако доверие ослабляется в двух конкретных случаях, а именно, когда ключевые элементы проблем отсчитываются, когда эксперты согласны с тем, что они должны быть включены в моделирование (406), и когда моделирование используется ненадлежащим образом (например, для представления системы к которой моделирование не может представиться).

Проиллюстрируем этот момент с помощью моделирования тепловых характеристик. В зданиях в Аделаиде, Австралия (407). Согласно примеру, имитации выбросов парниковых газов, производимые системой отопления и охлаждения, не соответствующим фактическим характеристикам, полученным за несколько лет зарегистрированной энергии конечного использования.

данные. Причина этого в том, что при моделировании не учитываются от опытные и/или охлаждающие приборы узловые в Общественной схеме оценок и энергопотребления домов – NatHERS. Если бы не эксперт, определяющий ошибочность результатов, моделирование могло бы привести к ложному впечатлению о точности и, следовательно, легитимности. Последствиями был бы серьезный ущерб окружающей среде и здоровью человека. Кроме того, правительством Австралии не могло быть проведено и успешное внедрение политики, поскольку в моделировании не учитывалась точная оценка потенциального потребления энергии и выбросов парниковых газов.

Переносимость (и путаница)

Под переносимостью понимается возможность использования результатов эталонного моделирования за пределами предполагаемого диапазона имитационной модели. Для Уильямсона вопросы носительности переносимости должны включать в себя степень, в которой авторитетное знание должно быть просто научным — адаптированным к компьютерному моделированию — или же должны приниматься во внимание и другие формализации.

Моральные проблемы контексте переносимости возникают, когда ответственные стороны и архитекторы хотят достичь стандартов, налагаемых отраслью (например, Star Rating), полагая, что это приведет к дальнейшему сокращению потребления энергии и выбросов парниковых газов. Поскольку у звездный рейтинг рассчитывается путем моделирования совокупных нагрузок по отоплению и охлаждению, учитывая определенные допущения о здании, результаты можно легко перенести на любую другую конструкцию, а также, к счастью, допущениям, изначально заложенным в проект. модель. В этом отношении неправильное понимание предположений, встроженных в данную симуляцию, а также ожидание переноса результатов одной симуляции в другой контекст может серьезно исказить целевую систему, что приведет к неправильному распределению ресурсов без достижения желаемой цели (407).

Надежность (и неопределенность)

Для Уильямсона некорректные компьютерные симуляции перестают быть надежными, потому что их результаты по прошествии определенного периода времени становятся неопределенными по отношению к данной целевой системе. Следует сказать, что такая неопределенность является результатом нежелательных исследований или недостаточной значимости точности результатов моделирования или его результатов, а скорее изменения характера моделируемых явлений реального мира. Рассмотрим следующий пример. Общеизвестно, что объемная теплоизоляция со временем изнашивается. Ожидается, что изоляция из стекловолокна на чердаке значительного сократится и потеряет до 30% своей изоляционной эффективности в течение примерно десяти лет (407). Последствия для потребления энергии и воздействия на окружающую среду, безусловно, будут значительными, что приведет к серьезным опасениям в отношении здоровья человека, экологического использования энергетических ресурсов и т. д. (Джеймисон, 2008). По мнению Уильямсона, современные исследования эт и к омпь ютеров

моделирование «не принимает во внимание это или другие известные неизвестные (Williamson 2010, 407). Я считаю, что оно прав на этот счет.

Подтверждаемость (инеточность)

Имитационные модели включают в себя ряд предположений, предположений и даже данных, которые не обязательно соответствуют эпистемологическому статусу научных и инженерных формулировок (например, поверхностное сопротивление, коэффициент излучения неба и коэффициент расхода включены в моделирование тепловых характеристик). Эти предположения и догадки неизбежно приводят к неопределенностям или, как любят их называть Вильямсон, «неоточностям» в применении моделирования» (407). Хорошим примером этого являются модели климата, где нет ничего необычного в том, что разные модели глобальной циркуляции и дают разные результаты. В основном это связано с предположениями, введенными в каждую модель, а также с данными, используемыми для их реализации. Уильямсон приводит пример 17 климатических моделей глобальной циркуляции, имитирующих временной ряд глобально усредненного привнесения потепления, как сообщается в Четвертом оценочном отчете 2007 года (ДО4) Международной группы экспертов по изменению климата (см. рис. 7.1) (Мил и др. 2007, 763). По его словам, не все прогнозы, сделанные этими моделями, могут быть правильными или, вероятно, столь же ошибочными. Четыре протоколы действуют этому эффекту, среднее значение результатов используется как наиболее вероятное значение для будущего состояния.

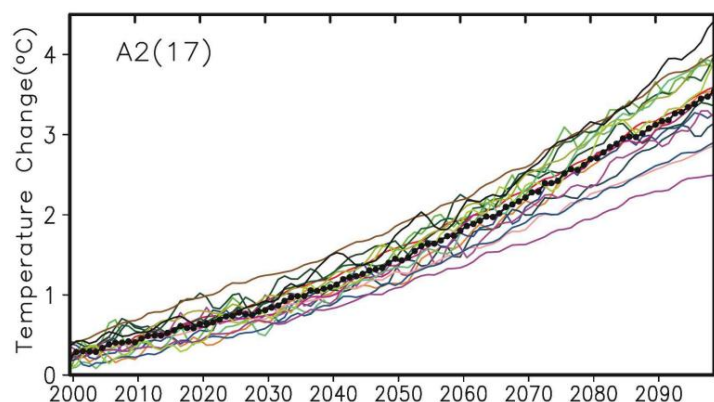


Рис. 7.1 Временные ряды глобально усредненного привнесения потепления, представленные в 17 климатических моделях глобальной циркуляции, Международная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК), Сценарий А2. Мультимодельные средние ряды отмечены черными точками (Meehl et al. 2007, 763), (Williamson 2010, 408).

Естественно, неточности, обнаруженные в результатах компьютерного моделирования, вызывают озабоченность, если не прямые возражения, в отношении использования результатов для решения этических и деликатных вопросов. Но исследователи прекрасно понимают, что полная уверенность практически невозможна.

невозможен. Таким образом, задача состоит в том, чтобы найти способ компенсировать нехватку информации или неизбежную информацию, связанную с определенными типами компьютеров. симуляций и этических проблем, которые не являются

Как мы упоминали в начале, Уильямсон не согласен с эпистемологическим надежностью компьютерных симуляций, их несостоятельностью как суррогатов реальности и ложное впечатление легитимности. С ним можно не согласиться на том основании, что все формализации (т.е. научное, инженерное, социальное, культурное и т.д.) могут быть покаяны быть ошибочным, неполным или ошибочным. Он также предполагает, что наше использование его имеет отрицательный моральный последствие? Ответ — громкое «это зависит». Для некоторых случаев явно верно, что неполное знание приводит к морально неприемлемым последствиям. И фабрикация данных из-за отсутствия знаний о том, как правильно представить научный эксперимент, имеет прямые моральные и правовые последствия для исследователей. И использование политическими сфабрикованных данных для информирования общественности является серьезным вопросом.

Интересная работа Уильямасона состоит в том, чтобы показать, как эпистемология компьютерных симуляций расширяет свою собственную область и выходит за пределы и этических соображений, позволяя установить определенные практики и отчеты для проектных решений и правил, основанных на моделировании, которые догустимы моральной точки зрения. Поскольку его любимой областью исследований является архитектура зданий, его примеры относятся к эргономическим этикам. Хорошим, последним примером является разработка моделирования тепловых характеристик зданий, которые позволяют согласовать Уильямсон, впечатляющий рост продаж кондиционеров и маркетинга комфортабельных условий, обе практики безотчетные точки зрения охраны окружающей среды (Шов 2004).

7.2.2 Брей

Связанный с этим историк этических опасений исходит из репрезентативной способности компьютерное моделирование, а также их профессиональное использование. Брей утверждает, что есть веские основания полагать, что репрезентации не являются морально нейтральными. Он использует как примеры искажений и предвзятых представлений в компьютерном моделировании. Точно так же Брей утверждает, что производственное использование компьютерных симуляций связано с этими имуществами, следовательно, поднимает вопрос профессиональной практики. (Brey 2008, 369)⁴. Давайте обсудим эти вопросы по порядку.

По словам Брея, компьютерное моделирование может причинить вред, а также ввести в заблуждение. исследователей вплоть до причинения вреда, если симуляция не поддерживает определенные стандарты репрезентативной точности. Когда возникает такая ситуация? Во многих случаях часть ювелирной функциональности компьютерной симуляции является реалистичное изображение аспектов реального мира. Например, в биомеханическом моделировании систем костных имплантатов крайне важно реалистично и точно представить человеческую кость, иначе любая информация, полученная в результате моделирования, может быть бесполезной (Schneider and Resch 2014).

⁴ Следует сказать, что работа Брея также связана с этими проблемами виртуальной реальности, используемой в видеоигре и ненаучные визуализации. Здесь я сосредоточусь исключительно на его взгляде на компьютерное моделирование.

Основной вопрос, который необходимо обсудить сейчас, — это вопрос о том, что означает реалистичность компьютерной симуляции? — или, если хотите, что означает поддерживать приемлемые стандарты репрезентативной точности? Ранее мы узнали от Уильямсона, что точность результатов компьютерного моделирования имеет первостепенное значение для моральных оценок. То, как Уильямсон понимает понятие точности, эквивалентно численной точности. То есть под точностью результатов компьютерного моделирования понимается степень их соответствия значениям, измеренным и наблюдаемым в реальной целевой системе. Вместе с этим Брей имеет в виду другую интерпретацию точности. По его собственным словам, «[стандарты точности] — это стандарты, которые определяют степень свободы существующих изображений явления, и которые определяют, как и чем должны быть включены представления, что обычно было точным, как ой уровень детализации». Требуется, и как и вид реализации разрешены» (Брей 2008, 369).

Другими словами, для Брея точность является синонимом «реализма». Точная модель — это модель, которая реалистично изображает целевую систему, то есть уменьшает количество идеализаций, абстракций и беллетризации модели, в то же время повышая уровень детализации.

Принимая во внимание точность в этом смысле, мы должны теперь задать себе вопрос, какие этические проблемы возникают в связи с искажением фактов? По словам Брея, искажение реальности проблематично с моральной точки зрения в той мере, в какой оно может привести к тому или иному вреду. Чем больше эти вред и чем больше вероятность их возникновения, тем больше моральная ответственность исследователей. Здесь интересно отметить, как Брей сочетает искажение компьютерных симуляций — в принципе морально нейтральное само по себе — с ответственностью проективных и производителей за обеспечение точности представлений (370). Например, точность и реконструкция смоделированной кости для будущего костного имплантата могут привести к серьезным последствиям для проективных и производителей, а также для пациента. Другим хорошим примером, представленным Бреем, является работа механизма образовательного программного обеспечения, где искажение информации может привести к тому, что учащиеся будут придерживаться ложных убеждений, а в более поздний момент времени причинить как ой-либо вред (370).

Предвзятые репрезентации, с другой стороны, составляют для Брея второстепенные моральные проблематичные репрезентации в компьютерных симуляциях (Brey 1999). Репрезентация предвзятая, когда она выборочно представляет явления или, можно добавить, выборочно искажает явления. Например, было обнаружено, что во многих моделях глобального климата количество углекислого газа, поглощаемого растениями, занижается примерно на одну шестую. Это объясняет, почему накопление CO₂ в атмосфере происходит не так быстро, как предполагают климатические модели (Sun et al., 2014). Такое предвзятое представление неоправданно игнорирует вклад в глобальное потепление отдельных видов растений. В целом проблема предвзятых представлений заключается в том, что они обычно приводят к несправедливому невыгодному положению отдельных лиц или групп или неоправданно продвигают определенные ценности или интерпретации в сравнении с другими (Brey 2008, 370).

Кроме того, представления могут быть искажены, если они содержат неявные предположения о рассматриваемой системе. Мы уже представили пример неявных предположений, которые приводят к искаженным представлениям, в нашем обсуждении алгоритмов в разделе 2.2.1.2, хотя и в другом контексте. Пример заключается в том, что бы предположить конкретный

фикация для имитации системного поведения. Четырехлетняя симуляция была успешной, статистически модули реализованы как имитация, чтобы обеспечить разумное распределение голосующего населения. На эти спецификацию исследователи решают, чтобы придать больше значения истинным переменным, как пол, гендер и состояние здоровья. Другие переменные, такие как образование и доход. Если это дизайнерское решение не запрограммировано в статистический модуль соответствующим образом, то моделирование никогда не будет отражать значения этих переменных, что приводит к смещению представлений избирателей.

Пример системного поведения вызывает не только опасения, но и разделение: многие авторы в том числе Брей, Уильямсон и, как мультимедийные, Орен. То есть роль дизайнеров в спецификации и программировании компьютерного моделирования. Брей утверждает, что разработчики компьютерных симуляций несут ответственность за размышления об их идеалах, потенциальных убеждениях и искажениях, включенных в своих симуляций и убедитесь, что они не нарушают важные этнические принципы (Брей, 1999). С этой целью Брей вместе с Уильямсоном и Орено прибегает к принципам профессиональной практики и кодексов. Как мультимедийные, Орен не только выражает свою обеспокоенность по поводу использования компьютерного моделирования, но также предлагает решение путем внедрения строгого этнического кодекса искренности для исследований, работающих с компьютерным моделированием.

..

7.2.3 Орен

..

У Тансера Оrena есть более подробное и подробное описание этно-компьютерного моделирования. По его мнению фундаментальная проблема заключается в том, приведет ли использование компьютерного моделирования к серьезным последствиям для человека. Его главная забота связана с тем фактом, что компьютерное моделирование используется для поддержки важных политических решений, которые могут изменить нашу текущую жизнь и ограничить наше будущее. В системах обращения с отходами ядерного топлива, например, компьютерное моделирование используется для изучения долгосрочных перспектив поведения, экологическое и социальное воздействие, а также способы ликвидации отходов ядерного топлива. Точно так же компьютерное моделирование учитывает ядерных отходов в Земля и подводные реки имеют решающее значение для принятия решений о том, ядерные отходы следует захоронить, а не строить специальный хранилище для хранения.

Орен, конечно, понимает, что эти этнические вопросы касаются использования результатов компьютерного моделирования, именно прямое отождествление компьютерного моделирования. В этом отождествлении он разделяет с Уильямсоном и Бреем идею о том, что эпистемология компьютерных симуляций лежит в основе моральных соображений. Об этом, он говорит: «Существование нескольких методов и инструментов проверки, проверки и акредитации также свидетельствует о важности последствий моделирования».

(Орен 2000). Подобно Уильямсону и Брей для Оrena важно создать основу для достоверности компьютерных симуляций как имитация, принимающие решения, лица, определяющие политику, могли использовать симуляционные надежные инструменты. Однако я верю, что он идет дальше, чем Уильямсон и Брей в своем анализе, когда утверждает, что надлежащее изучение этно-компьютерного моделирования требует четко определенного кода этики, который дополняет методы проверки, валидации и акредитации. К

По его мнению этичные аспекты облегчили бы установление доверия к исследователям, разрабатывающим и программирующим компьютерную симуляцию как коллективных лиц, а также как группы, так и им образом, не зависят полностью от самой компьютерной симуляции.⁵

Интересный вопрос, вытекающий из позиции Орена, заключается в том, что она во многом зависит от честности, самоотверженности и надлежащего поведения исследователей. справедливое предположение. Научная и инженерная практика предполагает четкое соблюдение правил надлежащей научной практики, которые включают соблюдение профессиональных стандартов, документирование результатов, строгую проверку всех результатов и честное приписывание любого вклада партнеров, коллег и предшественников (Deutsche Forschungsgemeinschaft 2013). Национальные и международные исследования фонды университетов и частные фонды все понимают, что научные недобросовестные действия являются серьезным оскорблением научного и инженерного сообщества, а также же создает серьезную угрозу престижу любого научного учреждения. Немецкие исследования Foundation (DFG) определяют неправомерное научное поведение как «преднамеренное и грубое небрежное заявление о лжи в научном контексте, нарушение прав интеллектуальной собственности или воспрепятствование исследователями своей работе другого лица» (Deutsche Forschungsgemeinschaft 2013). Любое доказанное неправомерное поведение серьезно наказывается. Я обсуждал идеи Орена о профессиональной практике и этичных аспектах ее в следующих разделах. Прежде чем мы углубимся в это, позволю себе немного раскрасить его положение.

Проблема, которая, по моему мнению, пронизывает позицию Орена, заключается в том, что если исследователи принимают правила хорошей научной практики и соблюдают их, то не существует особых этических норм, задач и для компьютерного моделирования. Причина этого в том, что в рамках Орена этичные вопросы ориентированы на исследователей, и на них возлагается незначительная ответственность. на самом компьютерном моделировании. Этими, конечно, не хочу сказать, что компьютерное моделирование несет моральную ответственность, а этичные проблемы из самой симуляции, как в случае Брея, где искание истинных беспокойств.

Однако Орен прав, указывая на то, как उपयोग для исследователей может принести и наличие этичных аспектов. Профессиональные организации имеют давнюю традицию приписывать такие аспекты явные преимущества, которые они приносят в свою практику. Позволю себе теперь обсудить подробнее профессиональная практика и этичные аспекты эти для исследователей работ с компьютерными симуляторами.

7.3 Профессиональная практика и этичные аспекты

Аспекты этики берут свое начало в определенных профессиональных сообществах, таких как Американское Общество инженеров-строителей, Американское общество инженеров-механиков,

⁵

Напомним, что для Уильяма «эксперт» не обязательно был исследователем, разрабатывающим и программирующим компьютерного моделирования, а скорее специалист по моделируемой теме.

Андреас Толк имеет больший объем работ по этике компьютерных симуляций. аналогичное направление исследований, как у Орена. См. (Толк 2017б, 2017а).

институт инженеров-электронщиков и инженеров-электриков и другие⁷. Как следует из их названий, эти общества отражают профессии их членов — в данном случае всех инженеров — и их специализацию.

Теперь для таких обществ, групп и институтов типично придерживаться этического кодекса, то есть набора стремлений, правил и руководящих принципов, которые представляют ценность и профессии, к которым они применяются.⁸ Такие кодексы этики обычно понимаются как нормативные стандарты того, как инженеры должны вести себя в конкретных обстоятельствах, чтобы соответствовать своей профессии. В этом смысле кодекс этики содержит моральные стандарты того, что данное сообщество понимает как хорошее и приемлемое профессиональное поведение.

Если этика как модель поведения зависит от этического кодекса, как предполагает Орэн, то для нас будет первостепенной задачей понять функцию этического кодекса, его содержание и применимость в исследованиях компьютерного моделирования.

Кодекс этики можно рассматривать как признак профессии, и поэтому положения кодекса этики рассматриваются как руководящие принципы, которыми должны следовать члены общества. Однако из основных функций этического кодекса состоит в том, что бы он содержал положение, в соответствии с которым член не должен делать ничего, что могло бы опровергнуть профессиональную оппорит профессионала. Это основной элемент, от которого зависит этический кодекс Орена, поскольку он не требует, чтобы бы из аксиом и программ исследований соответствовали правилам хорошей профессиональной практики.

Важный вопрос здесь заключается в том, предполагает ли этический кодекс моральное — и даже юридическое — обязательство для тех, кто его придерживается. Некоторые философы считают, что кодекс этики — не что иное, как соглашение между представителями данной профессии придерживаться общего набора стандартов. Такие стандарты служат для установления основных принципов общей профессии. Хайнц Лютенбиль, философ, интересующийся кодексом и образом инженеров, рассматривает любой этический кодекс как «набор этических правил, которыми должны руководствоваться инженеры в своей профессиональной жизни» (Luegenbiehl, 1991). Понимаемый таким образом, этический кодекс работает только для того, чтобы дать инженерам совет о том, как им следует действовать в данных обстоятельствах, но он не налагает никаких моральных или юридических обязательств, и при этом не ожидается, что инженеры будут строго соблюдать этический кодекс. Фактически, согласно этой интерпретации, этический кодекс есть не что иное, как обязательство или долг перед коллегами-профессионалами.

Для других философов этический кодекс — это набор утверждений, воплощающих коллективную мудрость представителей данной профессии, которые, как правило, выводятся из употребления. Практикующие инженеры редко оспаривают эти кодексы сами, не говоря уже о том, чтобы исследовать их. На это есть несколько причин. Одним из них является то, что исследователи обнаруживают, что некоторые этические кодексы разработанные для их дисциплин, содержат принципы идеалы, которые находятся в конфликте. Тем не менее, другие философы находят этический кодекс принудительным по своему намерению, таким образом, ограничивают свободу исследователя как профессионала. По сути, основанием для отказа от всех кодов

⁷ Собрание из более чем 50 официальных этических кодексов, выпущенных 45 ассоциациями в сфере бизнеса, здравоохранения и права, можно найти в (Gorlin 1994).

⁸ Коды бывают разных форм. Они могут быть формальными (письменными) и неформальными (устными). Они носят разные названия, каждое из которых преследует немного разное образовательные и нормативные цели. Наиболее распространенными формами являются кодексы этики, кодекс непрофессионального поведения и кодекс практики. Здесь я буду обсуждать общую форму кодов. Подробнее см. (Pritchard 1998).

этика проистекает из утверждения, что они предполагают вьов автономии моральные агенты. Вопрос «зачем вообще нужен этический кодекс?» от вечает говоря, что это, возможно, потому, что исследователи не являются моральными агентами.

Помимо философских сложностей, стоящих за кодексом этики, и причин, по которым исследователи должны принять их или просто отвергнуть, есть несколько вещей, которые должны выполнять любой этический кодекс. Одна из важных вещей состоит в том, чтобы быть вдохновляющим, т. е. предполагается, что члены должны быть более «этичными» в своих действиях. Руководит. Очевидное возражение против этой цели состоит в том, что она предполагает, что члены профессионального сообщества неэтичны аморальны или субморальны и поэтому необходимо увещевать их — даже вдохновляющими средствами — быть нравственными. Еще одна важная цель кодекса этики заключается в том, что они служат для того, чтобы члены профессионального сообщества были осведомлены поднимать свои опасения по поводу моральных проблем, связанных с их собственной дисциплиной.

Кодекс может также дать совет в случае морального недомоления о том, что делать. Например, когда учащийся может сообщить о проступке коллеги? Естественно, так или иначе от личается от нарушения морального правила исследователя или даже закон. Подать жалобу на коллегу за продажу медицинских препаратов без надлежащего лицензирования и жилие не должны представлять собой проблему для этического кодекса.

Покашливающий этик работает как дисциплинарный кодекс для обеспечения соблюдения определенных правил. правила профессии на своих членах, чтобы защитить целостность профессии и защищать свои профессиональные стандарты. Однако сомнительно, что бы какое-либо дисциплинарное действие может регулироваться и обеспечиваться с помощью этического кодекса, но покашливающий этик — это хороший источник при использовании в качестве критерия для определения злоупотребления служебным положением.⁹

7.3.1 Этический кодекс исследователей компьютерного моделирования

Если к этому моменту мы убедимся в ценности этики для проектирования, программирования, и, в конечном счете, использование компьютерных симуляций, как предлагает Орен, тогда следующий вопрос заключается в том, как разработать профессиональный этический кодекс для исследователей, работающих с компьютерными симуляциями. Не менее важно будет четко определить обязанности — которые лежат выше и вне этого этического кодекса, который так же беру у Оrena.

Ниже приводятся этические кодексы симулянтов от The Society for Modeling & Simulation International (SCS). SCS посвящен расширению использования и понимание моделирования и компьютерного моделирования с целью решения реальных проблем. Интересно отметить, что в своем заявлении SCS заявляет о своей приверженности и не только к развитию компьютерного моделирования в областях науки и техники, но и в искусстве. Еще одна важная цель SCS призван способствовать общению и сотрудничеству между профессионалами в области компьютерного моделирования. Главная причина наличия этического кодекса как раз и состоит в том, чтобы выполнять эти основополагающие цели общества.

⁹ Подробнее об этике профессиональной деятельности и этических кодексах см. (Harris Jr et al. 2013).

Коды этики для исследователей, работающих в области компьютерного моделирования, опубликованный на сайте SCS (<http://scs.org>) следующее:

Симуляторы—это профессионалы, занимающиеся одним или несколькими из следующих областей:

- Моделирование и имитационная деятельность.
- Предоставление продуктов моделирования и симуляций.

Предоставление услуг по моделированию и симуляции.

1. Личностное развитие и профессия

Как симулятор буду:

- 1.1. Приобретать и поддерживать профессиональную компетентность и отношение.
- 1.2. Относитесь справедливо к коллегам, клиентам, пользователям, коллегам и работодателям.
- 1.3. Поощряйте и поддерживайте новичков в профессии.
- 1.4. Поддерживайте сообщество и представляйте других профессий, к которым занимается моделированием и симуляцией.
- 1.5. Помогайте коллегам в достижении надежных результатов.
- 1.6. Соединяйте надежному и заслуживающему доверия использованию моделирования и симуляции.
- 1.7. Продвигайте профессиональное моделирование и симуляции; например, расширяйте общественное знание и признавать моделирование и симуляцию, а также разъяснять и опровергать ложные или вводящие в заблуждение утверждения.

2. Профессиональная компетентность

Как симулятор буду:

- 2.1. Обеспечение качества продукции и/или услуг за счет использования надлежащих методологий и технологий.
- 2.2. Ищите, используйте и предоставляйте критически профессиональный обзор.
- 2.3. Рекомендовать и использовать правильные достижимые цели для любого проекта.
- 2.4. Четко и точно документировать исследование моделирования и/или системы для уполномоченных сторон.
- 2.5. Обеспечьте полное раскрытие допущений при проектировании системы, а также известность ограничений и проблем уполномоченным сторонам.
- 2.6. Будьте ясны и недвусмысленны в отношении условий применимости конкретных моделей и связанных с ними результатов моделирования.
- 2.7. Предоставление четких и понятных результатов моделирования и симуляции, когда нет достаточных доказательств тщательной проверки и проверки.
- 2.8. Обеспечить тщательную непредвзятую интерпретацию окончательных результатов моделирования и симуляционных исследований.

3. Надежность

Как симулянт я буду:

- 3.1. Будете честны в отношении любых обстоятельств, которые могут привести к конфликту между
- 3.2. Соблюдайте контакты соглашения и возложенные обязанности и ответственность.
- 3.3. Помогите создать организационную среду, которая поддерживает этическое поведение.
- 3.4. Поддерживайте исследования, которые не нанесут вреда людям (нынешнему и будущим поколениям), а также окружающей среде.

4. Права собственности и должный кредит

Как симулянт я буду:

- 4.1. Дайте полное признание вкладу других.
- 4.2. Отдавайте должное интеллектуальной собственности.
- 4.3. Соблюдайте права собственности, включая авторские права и патенты.
- 4.4. Соблюдайте права на неприкосновенность частной жизни и деловых лиц и организаций, а также конфиденциальность достоверности соотнесенных данных и знаний.

5. Соблюдение Кодекса

Как симулянт я буду:

- 5.1. Придерживайтесь этого кодекса и призывайте других симулянтов придерживаться своего.
- 5.2. Рассмотрите нарушения этого кодекса как несовместимые с симуляцией.
- 5.3. Обратитесь за советом к профессиональным коллегам, когда сталкиваетесь с этическим дилеммой в моделировании и симуляционной деятельности.
- 5.4. Посоветуйте любое профессиональное общество, которое поддерживает этот кодекс желательного обновления.

Обоснование этого этического кодекса дано Ореном (Oren 2002). По мнению автора, есть как минимум две причины для принятия этического кодекса для симулянтов.¹⁰ Во-первых, потому что есть несколько зарождающихся симуляционных обществ, которые требуют от своих членов принятия этического кодекса. Такими образом и следуя Принципам этического кодекса, участники могут продемонстрировать принятие своей ответственности и подотчетности при разработке, программировании и использовании компьютерных симуляций. Во-вторых, потому что компьютерное моделирование является формой экспериментирования с динамическими моделями, и, таким образом, могут влиять на людей и окружающую среду самыми разнообразными способами. В

¹⁰ На самом деле Орен говорит о трех причинах, третьей из которых — празднование 50-летия годовщины основания Международного общества моделирования и моделирования (SCS).

В этом контексте специалист по этике необходимо провести анализ правильных и неправильных действий, хороших и плохих последствий, а также справедливого и недобросовестного использования компьютерных симуляций.

В то время как первые причины приведенные Ореном, направлены на установление критериев профессиональной ответственности, вторые обеспечивают контекст для работы с последствиями использования компьютерных симуляций.

7.3.2 Профессиональные обязанности

Конструкторы, представленные выше, закрепляют правила хорошего поведения для профессиональных ученых и инженеров, работающих с компьютерным моделированием. В этом отношении основное внимание уделяется проектированию, программированию и использованию компьютерных симуляций. Далее я представлю рассуждения Орена о том, как ответственность возлагается на профессиональную практику компьютерного моделирования. Следуя и расширяя (Орен, 2000), ученые и инженеры имеют долг перед широкой общественностью своими клиентами, работодателями, коллегами, своей профессией и самими собой. Следующий список обязанностей взят из (169).

- Ответственность перед общественностью
 - Исследователь должен действовать в соответствии с общественными интересами.
 - Исследователь должен продвигать использование симуляций для улучшения человеческого существования.
- Ответственность по отношению к клиенту (клиент моделирования — это лицо, компания или агент, которое покупает, сдает в аренду или арендует продукт моделирования, услугу моделирования или консультацию на основе моделирования):
 - Исследователь должен действовать в интересах клиента.
 - Эта ответственность должна соответствовать общественным интересам.
 - Исследователь должен поставлять / обслуживать продукт моделирования и/или услуги для решения проблемы наиболее надежным способом. Это включает в себя полезность, т.е. соответствие цели (целям), а также соответствие самым высоким профессиональным стандартам.
- Ответственность перед работодателем
 - Исследователь должен действовать в интересах работодателя при условии, что его деятельность не противоречит интересам общественности и клиента.
 - Исследователь должен уважать права интеллектуальной собственности своих нынешних и/или прошлых работодателей.
- Ответственность по отношению к коллегам
 - Исследователь должен быть справедливым и поддерживать своих коллег.
- Ответственность по отношению к профессии:

- Исследователь должен продвигать целостность и репутацию симуляционной профессии, отменяя общественным интересам.
- Исследователь должен применять технологию моделирования наиболее подходящим образом и не должен навязывать моделирование или любой его тип как прокрустово ложе.
- Исследователь должен делиться своим опытом и знаниями для продвижения профессии моделирования; это будет соответствовать интересам ее/его работодателя и клиента.

- Ответственность по отношению к себе:

- Исследователь должен продолжать совершенствовать свои способности, чтобы иметь соответствующее видение и знания, чтобы понимать проблемы широкой точки зрения и применять их для решения задач моделирования.

По общему признанию к этому этическому кодексу добавит нечего. Опасаясь повторения некоторых из упомянутых здесь вопросов, этот кодекс этики можно было бы расширить несколькими дополнительными пунктами. Что касается ответственности перед клиентом, исследователи должны строго соблюдать все правила конфиденциальности, которые связывают их работу с интересами клиента, а также ее право собственности на проекты результатов и тому подобное. Это может быть в случае чувствительных симуляций, например, в медицине. В таких случаях клиент доверяет исследователю хранить предоставленную информацию секретно, поэтому доверия, который не должен нарушаться.

В случае ответственности исследователя по отношению к общественности мы могли бы добавить, что всякое публичное раскрытие информации должно быть максимально объективным и беспристрастным. Как мы обсуждали в разделе 5.2.1, визуализация симуляций не совсем ясна для неспециалиста (например, политика, общественного коммуникатора), и поэтому передача визуализации не должна быть опосредована субъективными интерпретациями – насколько это возможно, так как это на самом деле возможно. Хотя такая ответственность также распространяется на клиентов и работодателей, общественность, возможно, является наиболее чувствительным агентом, который должен защищаться от взятых визуализаций.

Наконец, как правило, исследователи должны следовать общим кодексам надлежащего профессионального поведения (например, правилам надлежащей научной практики, установленным Немецким исследовательским фондом (Deutsche Forschungsgemeinschaft 2013)). В этом отношении ученые и инженеры работающие с компьютерным моделированием, не имеют особого статуса исследователей, а скорее несут определенные обязанности, соответствующие их профессии.

7.4 Заключение и замечания

Исследования этики компьютерного моделирования находят столько возможностей для улучшения. В этой главе я сосредоточился на представлении основных идей от носителя этики компьютерного моделирования, имеющихся в современной литературе. В этом отношении мы увидели три различных точки зрения. Уильямсон, который делает упор на эпистемологию и методологию компьютерного моделирования, ясно давая понять, что их надежность имеет первостепенное значение для

эт ич еск ая оц енк а. Бр ея, к от оры й прави ль н о о б р а щ а е т в н и м а н и е н а о п а с н о с т ь л о ж н ы х п р е д с т а в л е н и й и п р е д в з я т о г о м о д е л и р о в а н и я. Н а к о н е ц , О р е н п о д р о б н о о б с у ж д а е т ф о р м у, к от о р о ю д о л ж н а п р и н и м а т ь п р о ф е с с и о н а л ь н а я о т в е т с т в е н н о с т ь в к о н т е к с т е к о м п ь ю т е р н о г о м o d e л и p o в a н и я.

В у с л о в и я х, к о г д а к о м п ь ю т е р н о е м o d e л и p o в a н и е ш и р о к о р а с п р о с т р а н е н о в н а у ч н о й и и н ж е н е р н о й о б л а с т я х, к о г д а н а ш и з н а н и я и п о н и м а н и е в н у т р е н н е й р а б o т ы м и р з а в и с и т o т н и х, п o p a з и т е л ь н o, к а к м a л o б ы л o с к а з а н o o м o p a л ь н ы х п o c л e д c т в и я, в ы г е к а к и е из п p o e к т и p o в a н и я, п p o г p a m m и p o в a н и я и и c п o л ь з o в a н и я к o м п ь ю т e p н o г o m o d e л и p o в a н и я. Я н a д e ж у, ч т o o б c у ж д e н и e, к o т o p o e y н a c т o л ь к o ч т o c o c т o я л o c ь, п o c л у ж и т o т п p a в н o й т o ч к e з p e ч e н и я д л я м н o г и х п л o д o т в o р н ы e п p e d c т a в л я ю щ и e o б c у ж d e н и я.

Р е к о м е н д а ц и и

Беранже, Джером. 2016. Боль ш и е д а н н ы е и э т и к а: м е д и ц и н с к а я и н ф o p m a ц и o n н а я c ф e p a. Э л ь з e в и p.

Брей, Филип. 1999. «Э т и к а п р e d c т a в л e н и я и д e й c т в и я в в и p т у a л ь н o й p e a л ь н o c т и». Э т и к а и и n f o r m a ц и o n н ы e т e x н o л o г и и 1 (1): 5–14.

———. 2008. «В и p т у a л ь н а я p e a л ь н o c т ь и к o м п ь ю т e p н o e m o d e л и p o в a н и e». В С п p a в o ч н и к e п o i n f o r m a ц и o n н o й и к o м п ь ю т e p н o й э т и к e п o d p e d a к ц и e й К e n n e t a Э й н a p a X и m m ы и Г e p m a n a Т . Т a в a н и, 361–384.

Бриггс, Адам и Карл Митчелл. 2012. Э т и к а и н a y c k a: в в e д e н и e. К э м

У н и в e p c и т e т c k o e и з d a т e л ь c т в o м o c т a.

Deutsche Forschungsgemeinschaft, изд. 2013. Sicherung guter wissenschaftlicher P r a k t i s – з а щ и т а н a д л e ж а щ e й н a y c k o й п p a k t и к и. У А Й Л И.

Горлин, Рена А. 1994. К o d e к c ы п p o ф e c c и o n a л ь н o й o т в e т c т в e n н o c т и. К н и г и Б Н А.

Харрис-младший, Чарльз Э., Майкл С. Притчард, Майкл Дж. Рабинс, Рэй Джеймс и Элейн Энглхардт. 2013. И н ж e н e p н а я э т и к а: к o н ц e п ц и и и п p и м e p ы C e n g a g e L e a r n i n g.

Джеймисон, Дэйл. 2008. Э т и к а и o к p у ж а ю щ а я c p e d a: в в e d e н и e. К e m b r i d g e у н и в e p c и т e т в e p c и я P r e s s.

Джонсон, Дебора Г. 1985. «К o м п ь ю т e p н а я э т и к а». Э н г л в y d К л и ф ф c (Н ь ю Д ж e p c и).

Льюэнбилл, Хайнц. 1991. «К o d e к c ы э т и к и и н p a в c т в e n н o г o в o c п и т a н и я и н ж e н e p o в». В «Э т ич e c к и x п p o б л e м a x и н ж e н e p н o г o д e л a» п o d p e d a к ц и e й Д e b o p a Дж o n c o n, c т p. 137–138. 4.

П р e n т и c Х o л л.

Луттон, Дебора. 2014. «К o m m o d и ф и к а ц и я м н e н и я п a c ь e n т a: ц и ф p o в o й п a c ь e n т п o з н a й т e x o н o м и к y в э п o x y б o л ь ш и x д a n н ы x». С o c и o л o г и я з д o p o в ь я и б o л e з н и 36 (6): 856–869. ISSN: 1467-9566. д o i: 10.1111/1467-9566.12109. <http://dx.doi.org/10.1111/1467-9566.12109>.

Марр, Бернард. 2016. Большие данные на практике: как использовали 45 успешных компаний

Аналитика больших данных для достижения экстраординарных результатов. Джон Уайли и сыновья.

Майер-Шонбергер, Виктор Кеннет. Цукер. 2013.

Большие данные: революция

Это изменило, как мы живем, работаем и думаем. Суд Хоутон-Миффлин-Хармарт.

Маклеод, Джон. 1986. «Но, господин президент, это не лиэто?» Материалы 1986 г.

Зимняя симуляционная конференция.

Мил, Джерард А., Томас Ф. Стокер, Уильям Д. Коллинз, А. Т. Фридлингштейн,

Т. Гэй Амаду, М. Грегори Джонатан, Акио Китой и др. 2007. «Климат

Изменение 2007: Основы физических наук. Вклад Рабочей группы I

к Четвертому оценочному докладу Межправительственной группы экспертов по климату

Изменяется." Глава. Прогнозы глобального климата, под редакцией С. Соломона, Д. Цинь, М.

Мэннинг, З. Чен, М. Маркис, К.Б. Аверит, М. Тигнори Х.Л. Миллер, 747–

845. Издательство Кембриджского университета.

Миттельштадт, Брент Даниэль и Лучано Флориди. 2016. «Этика больших данных: текущие и

прогнозируемые проблемы в биоэтике и информатике». Наука и техника

Этика 22 (2): 303–341.

Мур, Джеймс Х. 1985. «Что такое компьютерная этика?» Метафизика 16, вып. 4 (октябрь): 266–

275.

Орен, Тансер И. 2000. «Ответственность, этика и моделирование».

Сделки 17 (4).

———. 2002. «Обоснование кодекса профессиональной этики для симулянтов». В

Летняя конференция по компьютерному моделированию 428–433. Общество компьютеров

Международное моделирование; 1998.

Притчард, Дж. 1998. «Кодекс этики». В Энциклопедия прикладной этики (Второй

издание), второе издание, под редакцией Рут Чедвик, 494–499. Сан-Диего: Академическая

пресса.

Шнайдер, Ральф и Майкл М. Реш. 2014. «Расчет дискретного эффективного

Жесткости: губчатого вещества кости путем прямого механического моделирования». В

книге «Высчитываемая хирургия и двойное обучение» под редакцией Гарби М., Басса Б., Берсели С.,

Колле К. и Сервери П., 351–361. Спрингер.

Шов, Элизабет. 2004. Комфорт, чистота и удобство: социальная организация нормальности.

Издательство Берг.

Спир, Рэймонд Э. 2012. «Энциклопедия прикладной этики». Глава. Наука и

Инженерная этика, обзор, под редакцией Рут Чедвик, 14–31. Эльзевир.

Сун, Ин, Ляньхун Гу, Роберт Э. Дикинсон, Ричард Дж. Норби, Стивен Дж. Паллард и Форрест М.

Хоффман. 2014. «Влияние диффузии мезофилла на предполагаемое глобальное удобрение земли

CO2». Труды Национальной академии

наук 111 (44): 15774–15779.

Толк, Андреас. 2017а. "Моральный кодекс." В книге «Профессия моделирования и симуляций: дисциплина, этика, образование, призвание, общество и экономика» под редакцией Андреаса Толка и Тунсер Олена, 35–51. Уайли и сыновья.

———. 2017б. «Общество моделирования и симуляций, формирующие профессию». В профессии моделирования и симуляций: дисциплина, этика, образование, призвание, общество и экономика, под редакцией Андреаса Толка и Тунсер Олена, 131–150. Уайли и сыновья.

Уильямсон, Т. Дж. 2010. «Прогнозирование производительности издания: этика компьютерных симуляций». Строительные исследования и информация 38 (4): 401–410.

Цвиттер, Андрей. 2014. «Этика больших данных». Большие данные и общество 1 (2): 2053951714559253. ISSN: 2053-9517. doi: 10.1177/2053951714559253.

