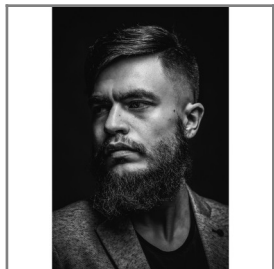


КОНЦЕПТУАЛИЗАЦИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИМУЛЯЦИЙ В ФИЛОСОФИИ НАУКИ*

Хамдамов Тимур Владимирович – аспирант.
Национальный исследовательский университет
«Высшая школа экономики». Российская Федерация,
105066, г. Москва,
ул. Старая Басманная, д. 21/4;
e-mail: tkhamdamov@hse.ru

Волошин Михаил Юрьевич – аспирант.
Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова. Российская Федерация,
119991, г. Москва,
Ломоносовский проспект,
д. 27, корп. 4;
e-mail: allrou95@rambler.ru



В современной отечественной философии дискуссии о феномене компьютерных симуляций в научно-исследовательской практике проведения экспериментов только начинают проходить стадию инициации в небольших междисциплинарных группах, изучающих это новое для философии науки направление.

Вместе с тем, в западной философии к текущему моменту сформированы несколько школ по изучению компьютерных симуляций. Различные группы исследователей по-разному формируют представления о базовых характеристиках симуляций: от скептических взглядов на их природу, не представляющих никакого философского интереса, до крайне революционных установок, возлагающих на симуляции главную роль в ближайшем ожидаемом повороте философии, сравнимым по своей мощности с лингвистическим поворотом в начале XX в.

Одним из основных дискуссионных вопросов в западной философской мысли стал поиск релевантных критериев и признаков симуляций, которые смогли бы создать прочную основу для формулирования строгого определения этого феномена. Таким образом, через определение исследователи, прежде всего, пытаются, с одной стороны, решить таксономическую задачу соотношения и взаимосвязей симуляций с другими видами эксперимента: натурный, лабораторный, мысленный, математический. А с другой, выявить для философии онтологические и эпистемологические основания симуляций, которые несут в себе потенциал новых философских знаний.

Эта статья посвящена краткому обзору существующих концепций представителей западных философских школ на феномен компьютерных симуляций в контексте философии науки. Структура обзора выстроена по трем базовым концептуальным направлениям: 1) определение термина «компьютерная симуляция»; 2) компьютерные симуляции как эксперимент; 3) эпистемическая ценность симуляций. Такой обзор может стать предметом дискуссий для российских исследователей, интересующихся вопросами влияния компьютерных симуляций на науку и философию.

Ключевые слова: компьютерные симуляции, философия науки, эксперимент, аргумент материальности, эпистемическая непрозрачность

* Исследование выполнено при поддержке Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского университета «Сохранение мирового культурно-исторического наследия»



CONCEPTUALIZING COMPUTER SIMULATIONS IN PHILOSOPHY OF SCIENCE

Timur V. Khamdamov –
PhD Student.
National Research University
Higher School of Economics.
21/4 Staraya Basmannaya Str.,
Moscow 105066,
Russian Federation;
e-mail: tkhamdamov@hse.ru

Mikhail Yu. Voloshin –
PhD Student.
Lomonosov Moscow State
University.
27 bld.4 Lovonosovsky av.,
Moscow 119991,
Russian Federation;
e-mail: allrour95@rambler.ru

In the modern Russian philosophy, discussions about the phenomenon of computer simulations in the scientific research practice of conducting experiments are just beginning to pass the stage of initiation in small interdisciplinary groups studying this new direction for the philosophy of science.

At the same time, in Western philosophy by the current moment there have been formed entire directions for the study of computer simulations. Different groups of researchers in different ways form ideas about the basic characteristics of simulations: from skeptical views on their nature, which are of no philosophical interest, to extremely revolutionary attitudes that assign simulations to the main role in the next expected turn of philosophy, comparable in its power to the linguistic turn in early XX century. One of the main controversial issues in Western philosophical thought was the search for relevant criteria and signs of simulations that could create a solid basis for formulating a rigorous definition of this phenomenon. Thus, through the definition, researchers first of all try, on the one hand, to solve the taxonomic problem of the correlation and interconnection of simulations with other types of experiment: natural, laboratory, mental, mathematical. On the other hand, to reveal for philosophy ontological and epistemological foundations of simulations, which carry the potential of new philosophical knowledge.

This article is devoted to a brief review of the existing concepts of representatives of Western schools of thought on the phenomenon of computer simulations in the context of the philosophy of science. The structure of the review is built on three basic conceptual directions: 1) definition of the term "computer simulation"; 2) computer simulations as an experiment; 3) the epistemic value of simulations. Such a review can become the subject of discussion for Russian researchers interested in the impact of computer simulations on science and philosophy.

Keywords: computer simulations, philosophy of science, experiment, argument of materiality, epistemic opacity

Введение

По своей структуре статья разделена на три части. В первой части представлен краткий исторический обзор ключевых дискуссий вокруг поиска определения термина симуляций. Во второй части разбираются главные представления о симуляциях с точки зрения их таксономического расположения в ряду традиционных видов эксперимента. В третьей части основной акцент сделан на общем



описании новой эпистемологии, которая возникает в ходе выявления новых эпистемических характеристик симуляций.

Первая часть статьи основополагающая в силу того, что формирование термина симуляций в дискурсе западной философии науки оказало существенное влияние на последующие исследования как места этого феномена в ряду экспериментов и математических моделей, так и его эпистемической значимости с выявлением самостоятельной онтологии и последующими притязаниями на формирование нового философского направления, основанного на уникальных свойствах компьютерных симуляций. Свойствах, которые были выявлены в ходе дискуссий вокруг вопроса: что такое симуляция?

Цель статьи предполагает решение следующих задач:

- определить главные исторические этапы философских дискуссий западных исследователей о компьютерных симуляциях на примере обзора изменений способов формулирования термина этого феномена;
- структурировать концепции и представления авторов ключевых работ, в которых симуляции рассматриваются в качестве предмета философии науки по критериям:
 - соотношения симуляций с экспериментами;
 - их эпистемической значимости.

1. Обзор основных дискуссий вокруг определения термина

Первые академические дискуссии по поводу оптимальной формулировки словосочетания «компьютерная симуляция» применительно к практике научного экспериментирования фиксируются в серии публикаций по экономическим наукам в 1960-х гг.¹ Общий взгляд на симуляции в пределе можно выразить через определение, сформулированное Марвином Хайенга:

«Компьютерная симуляция – это инструмент системного анализа, который применяет теорию предмета исследования, определенные математические структуры, логику программирования и эмпирический анализ для сведения сложной системы в математическую формулировку, дублирующую исследуемую сущность реальной системы. Таким образом, он [инструмент. – *Ред.*] сосредотачивается на всей системе взаимоотношений в выбранной области исследования» [Hayenga et al., 1968, p. 1755].

¹ См., например: [Shubik, 1960, p. 910–911; McKee, 1964, p. 1352; Naylor et al., 1967, p. 1316; Hayenga et al., 1968, p. 1755–1757].



В этом определении симуляции предстают в виде инструмента, основное предназначение которого оказать помощь в дублировании части реальной системы, которая представляет исследовательский интерес. Такое описание симуляций, на наш взгляд, не требует философских исследований в силу изначально задаваемых онтологических границ, в данном случае сводимых к инструментальной функции системного анализа.

Первое серьезное возникновение интереса к феномену компьютерных симуляций со стороны философов возникает в последнем десятилетии прошлого века. Оргкомитет Конференции Ассоциации философии науки (PSA), состоявшейся в 1990 г. в Миннеаполисе, организовал отдельную секцию, работа которой была посвящена компьютерным симуляциям в физических науках. Из выступавших нас особенно интересуют Фриц Рорлих и Пол Хамфрис, так как их доклады стали впоследствии отправной точкой в смене парадигмы инструментального подхода на принципиально новую картину, в которой компьютерные симуляции обладают характеристиками, представляющими интерес для философских исследований. Остановимся на этих докладах.

Рорлих, будучи физиком-теоретиком в квантовой электродинамике и классической теории заряженных частиц уже с 1970 г., начинает активно исследовать физику с точки зрения философии науки. В докладе Рорлих раскрывает основные визионерские предположения о значимости симуляций как главном факторе в качественной смене характера научной деятельности, по своей силе сопоставимой с исторически значимыми для науки событиями, как применение эмпирического подхода Галилеем и математически детерминированного подхода Ньютоном и Лапласом [Rohrlich, 1990, p. 507]. В этом же докладе Рорлих очерчивает контуры определения компьютерных симуляций, которые оказываются основанием принципиально новой методологии физических наук:

...компьютерные симуляции обеспечивают (хотя и не исключительно) качественно новую и иную методологию для физических наук, и эта методология находится где-то посередине между традиционной теоретической физической наукой и ее эмпирическими методами экспериментирования и наблюдения [ibid.].

Рорлих подчеркивает значимость влияния симуляций на физические науки лишь по причине того, что те примеры, которые разбираются им в докладе², относятся непосредственно к физике. Вместе с тем, Рорлих отмечает, что он уверен в таком же методологическом влиянии симуляций на другие научные дисциплины: естественнонаучные и общественные [ibid.].

² Рорлих целенаправленно разбирает два примера из физической науки на разных уровнях масштаба: атомном [ibid., p. 511–512] и астрофизическом [ibid., p. 512–514].



Пол Хамфрис в своем докладе отметил широкое применение симуляций в различных научных и инженерных дисциплинах, которое оказывает влияние на сущностную составляющую организации научно-экспериментальной деятельности. Это влияние создает фактор качественного изменения самой науки, а следовательно, философы, исследующие эпистемологию и онтологию научного знания, не могут обойти стороной этот феномен.

Хамфрис отказывается в ходе доклада формулировать общее определение симуляции, объясняя это высоким уровнем разнообразия вариаций этого термина. Он сам приводит несколько таких определений из работ, изданных в 1970-1980-х гг. [Humphreys, 1990, p. 500–501]. Вместо поиска оптимального определения Хамфрис предлагает изучить методы, которые применяются в результате использования симуляций обычно в силу трех причин [ibid., p. 502]:

- 1) обеспечение методами решения математических моделей, аналитические способы решения которых утрачивают в данном случае свои возможности;
- 2) проведение численных экспериментов в ситуациях, когда традиционные эксперименты (натурные, лабораторные) неуместны по практическим причинам или в принципе не выполнимы по физически объективным причинам³;
- 3) создание и исследование теоретических моделей природных явлений.

Однако Хамфрис в докладе все же формулирует рабочее определение симуляций, которое, на его взгляд, позволяет сосредоточить внимание на главной прагматичной сути этого феномена. Он утверждает, что главным условием научного развития является применение все более изощренных математических конструкций и открытие новых методов решения математически трудноразрешимых (mathematically intractable) из них. Взяв за основу определение Рамана Редди «Симуляция – это инструмент, который используется для изучения поведения сложных систем, трудно поддающихся математической обработке» [Reddy, 1987, p. 162], Хамфрис видоизменяет его, внося три важные характеристики [Humphreys, 1990, p. 501]:

- 1) симуляция – это набор методов, а не единый инструмент;
- 2) системы, которые являются предметом компьютерной симуляции, необязательно должны быть сложными ни по структуре, ни по поведению⁴;

³ В первом случае эксперименты являются слишком дорогостоящими, неопределенными в своих результатах или требуют слишком много времени. Во втором случае Хамфрис имеет в виду такие эксперименты, как вращение галактик, образование тонких дисков вокруг черных дыр и т.д. [ibid., p. 502]

⁴ Математическая неразрешимость может повлиять на дифференциальные или интегральные уравнения, имеющие довольно простую математическую структуру.



- 3) компьютерные симуляции превращают аналитически трудноразрешимые проблемы в вычислительно решаемые, а значит, на практике могут быть применены численные методы как частный математический метод.

Таким образом, Хамфрис формулирует рабочее определение (англ. Working Definition):

Компьютерная симуляция – это любой реализованный на компьютере метод исследования свойств математических моделей, для которых недоступны аналитические методы [Humphreys, 1990, p. 501].

Если концептуальное описание симуляций Рорлихом (симуляции – это что-то «между» теорией и экспериментом) отражает фундаментально-методологические параметры симуляции, поэтому оно расплывчато, то рабочее определение Хамфриса максимально сфокусировано на конкретной характеристике симуляций. Однако, несмотря на подчеркнута прагматическую узкую направленность, такое определение имеет эпистемический и методологический компоненты: потенциал симуляций находить множество решений для математических моделей.

Рабочее определение Хамфриса не осталось без внимания философских дискуссий. Нам в большей мере интересна критика Стефана Хартмана, который обратил внимание на принципиально важный аспект: динамический характер моделей. Главный упрек к определению Хамфриса был направлен на игнорирование такого важного параметра, как время. Хартман, решив исправить это упущение, предложил следующее определение:

Симуляция тесно связана с динамическими моделями. Более конкретно, симуляция получается, когда решаются уравнения базовой динамической модели. Эта модель предназначена для имитации эволюции реальной системы во времени. Другими словами, симуляция имитирует один процесс другим процессом. В этом определении термин «процесс» относится исключительно к некоторому объекту или системе, состояние которой изменяется во времени. Если симуляция выполняется на компьютере, это называется компьютерной симуляцией [ibid., p. 83].

Ряд философов склонны считать, что такое определение нивелирует всякие попытки исследовать компьютерные симуляции как самостоятельный феномен, отводя ему скромное место в рамках философии моделирования⁵. В частности, Хуан Дюран упоминает в ряде

Поведение этой системы не является чрезмерно сложным, просто ее сложно количественно предсказать без численных методов [ibid.]

⁵ Здесь речь идет о классических работах по философии моделирования, например: [Vaihinger, 1876; Craik, 1943; Rosenbluth and Wiener, 1945; Apostel, 1960; Minsky, 1965; Klaus, 1966; Stachowiak, 1973].



своих работ об этой слабой, на наш взгляд, стороне определения Хартмана [Duran, 2013, p. 39].

После распространения в философской среде определения Хартмана возникает продолжительная дискуссия о значении компьютерных симуляций для философии науки, в ходе которой образуются две позиции. Одни исследователи разделяли мнение о том, что компьютерные симуляции представляют собой один из видов динамических моделей, а значит, не имеет смысла ожидать от них принципиального нового знания для философии. Другие же стали выделять компьютерные симуляции в отдельный принципиально новый феномен, который не относится целиком к динамическим и математическим моделям.

Пол Хамфрис, приняв к сведению корректное замечание Хартмана о роли времени, формулирует новое определение компьютерных симуляций. Для этого он вводит следующие термины: теоретический шаблон, вычислительный шаблон, вычислительная модель. Теоретический шаблон представляет собой разновидность наиболее общих математических описаний, которые выражают конкретную научную теорию⁶. Вычислительный шаблон может возникнуть из теоретического шаблона, выраженного через конкретные величины (например, если речь про функцию силы, то она должна быть выражена либо силой тяжести, либо электростатической, либо магнитной, либо любой другой силой), которые поддаются вычислениям.

Хамфрис формулирует понятие вычислительной модели из характеристик рассмотренных им шаблонов. Эту формулировку он выражает через шесть компонентов, которые все, находясь во взаимной зависимости, конструируют вычислительную модель [Humphreys, 2004, p. 102–104]:

1. Уравнения или набор уравнений вместе с соответствующими типами граничных или начальных условий (дифференциальные, интегральные, разностные, итерационные уравнения), а также другие формальные математические аппараты. Такие синтаксические объекты обеспечивают базовую вычислительную форму модели.
2. Конструкционные ожидания.
3. Коррекция.
4. Интерпретация.
5. Обоснование шаблона.
6. Выходные репрезентации (таблицы, графики, диаграммы и т.д.).

⁶ К теоретическим шаблонам в физике относятся, например, уравнения в частных производных, такие как эллиптические (уравнение Лапласа), параболические (уравнение диффузии) и гиперболические (волновое уравнение) [Humphreys, 2004, p. 68], обыкновенные дифференциальные уравнения (второй закон Ньютона) [ibid., p. 60].



Хамфрис также вводит термин базовой симуляции (англ. *core simulation*), разбирая определение Хартмана в той части, которая касается темпоральных свойств динамических моделей. Для того чтобы симуляция в том или ином конкретном случае находилась в корректном соответствии с наблюдаемой в реальности системой, нет необходимости создавать симуляции всех процессов, которые являются причинами фиксируемых в реальности явлений. Так, в качестве примера Хамфрис приводит симуляцию движения планеты. В этом случае достаточно последовательных вычислений состояния планеты (положения и скорости) через дискретные промежутки времени с использованием математических уравнений, которые составляют кинематическую модель орбитального движения (базовая симуляция). То есть работа симуляции в этом случае заключается в последовательной шаг за шагом смене значений положения и скорости планеты. Такой динамический процесс смены состояний вычислительной модели Хамфрис называет темпоральной частью вычислительного процесса базовой симуляции. Эта темпоральная часть целиком зависит от системы, которая производит вычисления. В нашем случае это цифровые и аналоговые компьютеры.

В итоге Хамфрис формулирует следующее определение:

Система *S* обеспечивает базовую симуляцию объекта или процесса *B* в том случае, если *S* представляет собой конкретное вычислительное устройство, которое посредством темпорального процесса создает решения для вычислительной модели, корректно выражающей *B*, динамически или статически. Кроме того, если вычислительная модель, используемая *S*, правильно представляет структуру реальной системы *R*, то *S* обеспечивает базовую симуляцию системы *R* относительно *B* [ibid., p. 110].

Хамфрис через конкретную характеристику компьютерных симуляций попытался продемонстрировать их обособленность от вычислительных, математических или других абстрактных моделей. Компьютерные симуляции, по Хамфрису, стали сложными многофакторными «экспериментальными устройствами» над динамическими моделями. Тем самым, точка зрения Хамфриса сумела стать привлекательной для философов, сумевших обнаружить признаки новизны феномена симуляций для философии науки в части эпистемических и онтологических исследований.

Глубокий рефлексивный анализ симуляций был сделан Райнбергером [Rheinberger, 2018] через концепцию транспозиции, которая характеризует собой переход экспериментальных следов (англ. *traces*)⁷ в данные из графематического пространства в репрезентатив-

⁷ Рейнбергер под следом понимает графему Жака Деррида [Derrida, 1997]. Согласно этой концепции, след – это слой под традиционными метафорами изображения и письма, реализующих себя в пространстве репрезентации. Графематическое



ное. Такой переход осуществляется в науке обычно через связывание следов посредством моделей, в результате чего данные фиксируют себя в репрезентативном пространстве. Главный посыл Райнбергера заключается том, что компьютерные симуляции в отличие от моделей могут генерировать новые экспериментальные следы, которые в результате становятся данными. Получается, что в этом случае можно сформулировать следующее определение:

***Компьютерная симуляция** – это реализованный на базе программно-аппаратного комплекса набор вычислительных моделей, создающих специфическую среду, которая самогенерирует новые экспериментальные данные, тем самым обеспечивая условия для проведения экспериментов над базовыми математическими и научными теоретическими моделями, сопровождающих конкретный традиционный эксперимент (натурный, лабораторный, мысленный).*

2. Компьютерная симуляция как эксперимент

В явном виде вопрос о месте компьютерных симуляций на «методологической карте» науки был сформулирован еще в 1996 г. Питером Галисоном и состоял в том, являются ли симуляции скорее теоретическими или экспериментальными практиками [Galison 1996, 120]. При этом эпистемологи обращали внимание на то, что ученые склонны использовать применительно к компьютерным симуляциям понятие «эксперимент» в повседневной деятельности. Так, хотя Эрик Винсберг призывает быть осторожными и не делать из этого прямых выводов о том, что симуляция и есть эксперимент [Winsberg, 2010, p. 29], он признает, что языковая интуиция ставит определенные вопросы:

Почему [ученый] часто называет то, что он делает, проведением «вычислительных экспериментов»? Почему он называет то, что он получает, «данными»? Почему практика симуляции столь очевидно во многих отношениях напоминает экспериментальную практику? Должны ли мы отвергнуть это как всего лишь произвольную метафору? [ibid., p. 52]

Из той же интуиции исходит и Франческо Гуала:

Заметим, что повседневный научный дискурс часто относится к экспериментам, моделям и симуляциям как к образцам одного и того же типа деятельности... Почему ученые переходят от разговора об «экспериментах» к разговору о «моделях» и «симуляциях»? [Guala, 2002, p. 60]

пространство находится «до и под» пространством репрезентации [Rheinberger, Schwab, 2013].



При этом повседневный научный дискурс способен указать на определенные направления поиска:

Это различие определенно нагружено эпистемическими коннотациями: предполагается, что симуляции в некотором смысле менее плодотворны, чем настоящие эксперименты... Их результаты часто оцениваются как «всего лишь» симуляции, которые не следует путать с «настоящими вещами» [ibid., p. 62].

Гуала предлагает сместить фокус с эпистемологии на онтологию симуляций.

Различие лежит в типе отношения, лежащего между, с одной стороны, *экспериментом* и его *целевой системой*, и с другой стороны, *симуляцией* и ее целевой системой. В первом случае соответствие присутствует на «глубинном», «материальном» уровне, тогда как во втором – признается только «абстрактное» и «формальное» сходство [ibid., p. 66–67].

Таким образом, в случае эксперимента мы более убеждены в его познавательной силе, поскольку экспериментальная установка сделана – по крайней мере, в *имеющих значение аспектах* – из того же *материала*, тогда как к симуляции такое требование не предъявляется и сходство может состоять исключительно в *отношениях между элементами*. С этой точки зрения, например, экономические исследования в лаборатории – посадить людей играть в игру, имитирующую микроэкономические отношения – является экспериментом, так как онтология релевантного материала, а именно люди, одна и та же. Компьютерные модели, с другой стороны, являются очевидными симуляциями, так как онтологически это лишь электронное устройство.

Еще один вариант онтологического подхода к определению симуляции и эксперимента предложен Мэри Морган [Morgan, 2003]. Она начинает с противопоставления двух крайних ситуаций: «чистый» лабораторный эксперимент и «чистое» математическое моделирование. Существует как минимум три основания различать эти практики:

1. *Способ контроля*. В эксперименте контроль над ситуацией достигается путем материального вмешательства, тогда как в математической модели ситуация конструируется искусственно путем введения тех или иных допущений.
2. *Производство выводов*. Выводы из эксперимента основаны на наблюдении результатов вмешательства; для математической модели требуется лишь дедукция выводов из заданных предпосылок. Морган особо подчеркивает тот момент, что если в математической модели нам известны все предпосылки и результат моделирования немножко предсказуем, то в эксперименте «результат, который мы *ожидаем* найти,



не присутствует с необходимостью в экспериментальной установке... Возможности материального мира таковы, что эксперименты в этой области могут удивить нас, тогда как математические модели не должны» [Morgan, 2003, p. 220].

3. *Распространение выводов на материальный мир.* Морган полагает, что выводы из материальной экспериментальной практики распространяются на материальные ситуации этого же или похожего типа; выводы из математической модели, хотя и могут быть распространены на реальный мир, предполагают, что система, к которой они приложимы, также носит математический характер. Следует признать это различие довольно расплывчатым, особенно в контексте дальнейшего обсуждения.

Компьютерные симуляции, по мнению Морган, располагаются где-то между этими крайними точками. Она определяет их следующим образом: «Это эксперименты, *использующие* математическую модель как экспериментальный инструмент, а не эксперименты *на* математической модели» [ibid., p. 223]. Как и Гуала, она использует для компьютерных симуляций термин «гибридные эксперименты», однако подразделяет их на два типа: «*virtually an experiment*» и «*virtual experiment*». В обоих случаях перед нами пример конструирования некоторого виртуального аналога материального объекта и производство выводов на основе виртуального взаимодействия с ним. Однако ключевой момент – характер этого конструирования. В первом случае в качестве основы виртуального объекта используется реальный материальный объект, и его свойства воспроизводятся с максимальной возможной точностью; Морган характеризует этот объект как «полуматериальный». Во втором случае используется модель объекта, основанная на ряде идеализированных допущений и представляющая собой абстрактную структуру. Ни тот, ни другой эксперимент не является однозначно «лабораторным» или «чисто математическим», однако понятно, что первый случай гораздо ближе к материальным лабораторным практикам, а второй – к математическому моделированию; и оба используют компьютер в качестве посредника.

Поскольку в «*virtually experiments*» в качестве входных данных используется материальный объект, Морган называет такие компьютерные симуляции «почти материальными» [ibid., p. 233]. В этом смысле режим репрезентации позволяет ученым отнестись к ним со степенью доверия, практически аналогичной лабораторным экспериментам.

Еще более радикальную позицию относительно материальности компьютерных симуляций занимает Уэнди Паркер. Она утверждает, что симуляции материальны *в буквальном смысле*, поскольку экспериментальная установка в случае компьютерной симуляции – не виртуальная среда, созданная компьютером, а *сам компьютер*. На самом



деле, оспаривать материальность компьютера не собирались ни Гуала, ни Морган; однако для Паркер это принципиальный момент: «Эпистемология компьютерной симуляции должна уделять внимание этой материальности, иначе она обедняется, если не совсем запутывается» [Parker, 2009, p. 491]. Путаница происходит оттого, что из материальности/нематериальности компьютерной симуляции делается вывод об их эпистемологическом статусе, тогда как этот статус в отношении материальности совершенно одинаков. «Именно наблюдение за поведением материальной физической системы – программируемого цифрового компьютера – обуславливает результаты компьютерных экспериментов» [ibid., p. 495].

Успешность выводов в отношении эксперимента зависит от степени релевантности тех свойств, которые моделируются в эксперименте. Но это верно как в отношении компьютерных симуляций, так и в отношении лабораторных экспериментов. «Для обоих типов экспериментов оправданность выводов о целевых системах зависит от того, имеются ли у ученых достаточные основания полагать, что релевантные сходства – материальные, формальные или комбинированные – присутствуют между экспериментальной и целевой системой» [ibid.]. Соответственно, между этими экспериментами нет разницы ни с точки зрения онтологии, ни с точки зрения эпистемологии; Паркер приводит ряд метеорологических примеров, в которых ученые больше доверяют результатам компьютерной симуляции, чем лабораторным данным⁸.

Вышеописанные варианты сопоставления экспериментов и компьютерных симуляций основаны на общей идее, которая получила название «аргумент материальности» [Duran, 2013, p. 40]. Идея аргумента материальности в том, что эпистемическая ценность симуляций прямо связана с онтологией происходящих процессов: если симуляции материальны в том же смысле, что и эксперименты, мы должны приписать им не меньшую эпистемическую ценность (Паркер); если же существует «зазор», то компьютерные симуляции заслуживают меньшего доверия (Гуала, Морган).

Статус самих экспериментов при этом рассматривается как нечто само собой разумеющееся. Однако аргумент материальности работает и в противоположную сторону: можно подвергнуть критическому анализу онтологию самих материальных экспериментов,

⁸ На наш взгляд, Винсберг не вполне адекватно интерпретирует идеи Паркер, когда полагает, будто она делает акцент на релевантности свойств, которые отличают материальный эксперимент от компьютерной симуляции [Winsberg, 2010, p. 62]. Дело как раз в том, что (в концепции Паркер) ни релевантность свойств, ни материальность ситуации как раз не способны отличить эксперимент от симуляции: в том или ином виде оба этих параметра присутствуют в обоих видах научных практик.



попытаться «понизить» их статус – вместо того, чтобы пытаться дотянуть компьютерные симуляции до этого статуса. Так поступает, например, Маргарет Моррисон, аргументируя, что и эксперименты, и компьютерные симуляции являются прежде всего способами искусственного вмешательства в мир: построения в нем *моделей* [Morrison, 2009]. И в том, и в другом случае существуют сходные трудности в том, чтобы добиться соответствия результатов измерения действительности. Измерения могут быть *прецизионными*⁹ (precise), т.е. стабильно воспроизводимыми в условиях имеющейся модели (этот параметр характеризует то, насколько хороша наша исследовательская установка); но они также должны быть *точными* (accurate) в смысле соответствия результата измерения действительному процессу, который исследуется. В силу своей «искусственности» и «модельности» (model-shaped) экспериментальные практики страдают от невозможности произвести прямой переход от прецизионности используемой модели к ее точности (одно не гарантирует другое); однако ровно по тем же онтологическим причинам ровно те же эпистемологические «страдания» испытывают и компьютерные симуляции.

Хотя аргумент материальности остается распространенным способом сопоставления компьютерных симуляций и экспериментов [Duran, 2013], он не является единственным. Так, Винсберг полагает, что онтология вообще не является существенной для решения вопроса о статусе симуляций и не способна обосновать (или опровергнуть) их эпистемическую ценность [Winsberg, 2010]. Ни в эксперименте не существует полного материального сходства с изучаемым объектом, ни в симуляции – точного структурного подобия [ibid., p. 57–58]. При этом можно сказать, что любой предмет будет в каких-то отношениях (как материальных, так и формальных) подобен любому другому. Необходимо, согласно Винсбергу, выбирать *релевантные* сходства и в той, и в другой ситуации. Релевантность сходств будет зависеть, очевидно, от того, что именно ученый хочет установить и какого рода вопросы он задает. Следовательно, будет ли исследовательская ситуация рассматриваться как «симуляция» или как «эксперимент», зависит от перспективы исследователя в данной ситуации, а не от ее онтологических характеристик. Винсберг выделяет три параметра, которые могут поддерживать доверие к симуляциям: во-первых, теория, которая лежит в основе конкретной практики моделирования; во-вторых, «убедительность физических интуиций» относительно релевантности сходств (поток воды в трубе интуитивно ближе к речному потоку, чем аналогичный симулируемый поток

⁹ Существует некоторая путаница в переводах этих терминов. Действующий ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 использует термины «прецизионность» (precision) и «точность» (accuracy), однако то, что Моррисон называет «точностью», в ГОСТе соответствует понятию «правильность» (trueness).



в компьютерной модели); в-третьих, на надежности используемых вычислительных методов [Winsberg, 2010, pp. 65–66]. Но при этом надежность используемых интуиций и вычислительных технологий зависит от надежности их результатов, которая, в свою очередь, может быть определена только *post hoc*, путем сопоставления результатов симуляции с феноменальным уровнем научного знания. Соответственно, отличительной особенностью симуляции является всего лишь отличие в фоновом знании, в убежденности исследователей, что у них имеются надежные принципы построения моделей. Надежность этих принципов определяется их результативностью. Тогда рост доверия к результатам симуляций связан с предыдущей успешностью практики использования аналогичных моделей. Мы, однако, находимся в ситуации большего доверия к экспериментам: это происходит «потому, что мы не считаем наши принципы построения моделей надежными, пока они не будут проверены экспериментами и наблюдениями» [ibid., p. 71].

3. «Новая эпистемология» компьютерных симуляций

Среди исследователей существуют разногласия по поводу того, является ли проблематика компьютерных симуляций чем-то принципиально новым для философии науки. Одни полагают, что эра компьютерных симуляций требует если не новой отрасли эпистемологии, то как минимум постановки новых вопросов ([Winsberg, 2010; Humphreys, 2009])¹⁰. Другие считают, что компьютерные симуляции «ставят мало, если сколько-нибудь, новых философских вопросов» [Frigg, Reiss, 2009]. Рассмотрим две крайние точки этого континуума.

Фригг и Райсс предлагают критический разбор ряда ключевых работ, которые акцентируют принципиальную значимость симуляций для философских исследований и пытаются предложить новые принципы философских подходов к эпистемическим особенностям научного знания. «Безосновательные» утверждения о специфичности компьютерных симуляций Фригг и Райсс классифицировали по следующим группам тезисов [Frigg, Reiss 2009, p. 595]:

¹⁰ В качестве примеров проблем, которые должны теперь решаться с учетом существования компьютерного моделирования, Винсберг приводит проблемы соотношения теории и эксперимента, внутренней непротиворечивости теории, научного реализма и, наконец, проблему научной истины (в каком смысле наше знание, полученное путем конструирования полуавтономных моделей, может считаться истинным) [Winsberg, 2010, pp. 135–138].



- **Метафизика:** симуляции создают своего рода параллельный мир, в котором эксперименты могут проводиться в более благоприятных условиях, чем в «реальном мире».
- **Эпистемология:** симуляции требуют новой эпистемологии.
- **Семантика:** симуляции требуют нового анализа того, как модели/теории соотносятся с конкретными явлениями.
- **Методология:** симуляции – это форма активности особого рода, которая находится «между» теоретизированием и экспериментированием¹¹.

Сами авторы считают, что компьютерные симуляции – это разновидность динамических моделей, и склоняются к определению Хартмана [Frigg, Reiss 2009, p. 596]. Соответственно, отмечают Фригг и Райсс, эти и другие подобные вопросы не являются новыми для философии науки. Все они уже поднимались в связи с проблемой моделирования вообще. Поскольку компьютерная симуляция является частным случаем модели, постольку вопросы, которые возникают в связи с ней, являются частными случаями вопросов общей концепции моделей в философии науки. «Философские проблемы, поднятые симуляциями, имеют аналоги в контекстах моделирования, экспериментирования, мысленных экспериментов, и потому не являются совершенно новыми и вовсе не требуют обновления философии науки» [ibid., p. 611].

Пол Хамфрис предложил фундаментальную аргументацию против такой позиции. Он характеризует ситуацию, в которой с появлением компьютерных симуляций оказалась философия науки, как «антропоцентрическое затруднение» (anthropocentric predicament). «Вычислительные науки представляют новую проблему для философии науки, потому что они используют методы, которые устраняют людей из центра эпистемологической деятельности. До недавних пор философия науки рассматривала науку как форму активности, которую осуществляют и анализируют люди. Люди же владеют и пользуются знанием, производимым наукой» [Humphreys, 2009, p. 616]. Возникновение и распространение компьютерных симуляций ставят эту антропоцентричную перспективу под вопрос, создавая указанное «затруднение»: как продолжать производить новое знание и в какой мере мы можем на него надеяться, если мы, возможно, больше не являемся полноправными субъектами его производства?

Хамфрис выделяет как минимум четыре проблемы, которые не поддаются решению с позиции антропоцентричной перспективы и потому требуют новой постановки философских вопросов:

¹¹ В одной из сравнительно недавних статей на эту тему автор почему-то приписала этот тезис самим Фриггу и Райссу [Saam, 2017, p. 304].



1. *Эпистемическая непрозрачность.* Пожалуй, самый значимый аргумент Хамфриса состоит в том, что существует непрозрачность процесса вычисления: в человеческой перспективе не вполне ясно, каким образом заданные параметры модели приводят к тому или иному результату. С точки зрения Хамфриса, автономность симуляций достигла такой степени, что «ни один человек не способен перепроверить и обосновать каждый элемент вычислительного процесса, который производит вывод компьютерной симуляции» [Humphreys, 2009, p. 618]. Соответственно, эпистемология компьютерного моделирования должна быть «нечеловеческой», не-антропоцентричной.
2. *Семантика.* Вторая проблема состоит в том, что применение вычислительных методов преобразует – и нам непонятно, как именно – отношение денотации. Что именно «означает» вычислительная модель? «Старая» философия науки могла ответить на эти вопросы, используя синтаксический подход – модель есть дедуктивно выведенная интерпретация теории – или семантический: модель есть изоморфная исследуемому феномену структура. Однако компьютерные симуляции соотносятся со своими денотатами иначе. «Разница состоит в замещении явного дедуктивного отношения между аксиомами и предсказаниями вычислительным процессом, который осуществляется реальным вычислительным устройством» [ibid., p. 620].
3. *Темпоральная динамика.* В компьютерной симуляции, в отличие от «аналоговых» моделей, присутствует определенный темпоральный дуализм: время существенно и как элемент вычисления (его скорость), и как элемент репрезентации результатов вычисления (динамический процесс, который мы наблюдаем в симуляции). Проблема в том, что соотношение этих двух параметров прямо влияет на эпистемологический статус симуляции. Ее способность предсказывать принципиально основана на скорости вычислений, которая может существенно отличаться как от скорости репрезентации процесса, так и от скорости течения самого процесса. В качестве яркого примера: мы можем задаться вопросом о том, какая погода будет завтра, но это не будет иметь никакого смысла, если компьютерная программа только завтра рассчитает нам прогноз или если визуальная симуляция погодных изменений растянется на сутки.
4. *«На практике, а не в принципе».* Существует убеждение (Хамфрис цитирует нескольких исследователей), что в компьютерной симуляции нет ничего такого, что не могло бы быть *в принципе* реализовано без компьютеров. Хотя это может быть верно, к эпистемологии компьютерных симуляций это не имеет отношения: новые проблемы (вроде предыду-



щей) возникают из-за *практической* реализуемости или нереализуемости определенных способов моделирования на компьютерах. Соответственно, эпистемология не может в данном аспекте ориентироваться на принципиальную возможность; необходимо исходить из реальных возможностей реальных компьютеров.

Из всего этого Хамфрис заключает, что «вычислительные науки требуют новой, не-антропоцентричной эпистемологии, и нового подхода к тому, как применяются модели и теории» [Humphreys, 2009, p. 625].

Акцент на «непрозрачности» в связи со спецификой компьютерных симуляций был поддержан многими (см. например, [Lenhard, 2019, pp. 98–131] для подробного обсуждения, а также [Bertolaso, 2019]). При этом некоторые авторы, исходя из тех же соображений, что и Хамфрис, пришли к прямо противоположному методологическому требованию, более «человечной» эпистемологии: сместить акценты рассмотрения с компьютерной программы на производящего симуляцию субъекта (ученого) и проанализировать возможные параллели между этой деятельностью человека и, например, игровой деятельностью [Saam, 2017, pp. 306–307]. Роль субъекта в работе с компьютерной симуляцией также неоднократно подчеркивалась Винсбергом [Winsberg 2010] и другими сторонниками прагматического подхода к моделям.

Заключение

Феномен компьютерных симуляций с 1990-х гг. стал предметом исследований и острых дискуссий в западной философской мысли. Основные активно обсуждаемые вопросы касаются влияния симуляций на практику организации научной деятельности, новых способов научного познания, изменения методологических основ экспериментальной и теоретической деятельности. Одновременно с этим изучение симуляций за прошедшее десятилетие демонстрирует динамику роста предметной области и расширения исследовательских границ за пределы философии эксперимента и даже философии науки. Так, например, Ленхард в работе [Lenhard, 2019] подробно раскрывает потенциал симуляций как нового фактора изменения философии в ближайшем десятилетии. А взгляды Наполетани [Napoletani, 2011] способствовали развитию дискуссий по вопросу автоматизации науки (устранение субъекта антропоморфной природы) и роли симуляций в этом процессе [Bertolaso, 2019].

Авторы статьи постарались в общем концептуальном виде продемонстрировать роль философских дискуссий о компьютерных



симуляциях в формировании нового вектора изменений западной философии науки. Мы надеемся, что такой обзор поможет инициировать дискуссии в среде российских философов, что в результате будет способствовать появлению отечественных школ по изучению влияния компьютерных технологий на науку и философию.

Список литературы / References

Apostel, 1960 – Apostel, L. “Towards the Formal Study of Models in the Non-formal Sciences”, *Synthese*, 1960, vol. 12, no. 2–3, pp. 125–161.

Bertolaso, Sterpetti, 2019 – Bertolaso, M., Sterpetti, F. (eds.) *A Critical Reflection on Automated Science. Will Science Remain Human?* Springer, Series Human Perspectives in Health Sciences and Technology, vol. 1, 2019, 302 pp.

Craik, 1943 – Craik, K. *The Nature of Explanation*. Cambridge University Press, 1943, 136 pp.

Derrida, 1998 – Derrida, J. *Of Grammatology*, trans. by G.C. Spivak. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1998. 456 pp.

Duran, 2013 – Duran, J. “A Brief Overview of the Philosophical Study of Computer Simulations”, *American Philosophical Association Newsletter on Philosophy and Computers*, 2013, vol. 13, pp. 38–46.

Frigg, Reiss 2009 – Frigg, R., Reiss, J. “The Philosophy of Simulation: Hot New Issues or Same Old Stew?”, *Synthese*, 2009, no. 169, vol. 3, pp. 593–613.

Galison, 1996 – Galison, P. “Computer Simulation and the Trading Zone”, in: Galison, P. & Stump, D. (eds.) *Disunity of Science: Boundaries, Contexts, and Power*. California: Stanford University, 1996, pp. 118–157.

Guala, 2002 – Guala, F. “Models, Simulations, and Experiments”, in: Magnani, L., Nersessian, N. (eds.) *Model-Based Reasoning: Science, Technology, Values*. NY: Springer Science+Business Media, 2002, pp. 59–74.

Hartmann, 1996 – Hartmann, S. “The World as a Process: Simulations in the Natural and Social Sciences”, in: Hegselmann, R. (ed.) *Modelling and Simulation in the Social Sciences from the Philosophy of Science Point of View*. Kluwer, 1996, pp. 77–100.

Hayenga, Matentsch, Halter, 1968 – Hayenga, M., Manetsch, T., Halter, A. “Computer Simulation as a Planning Tool in Developing Economies”, *American Journal of Agricultural Economics*, 1968, vol. 50 (5), pp. 1755–1759.

Humphreys, 1990 – Humphreys, P. “Computer Simulations”, *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association*, The University of Chicago Press on behalf of the Philosophy of Science Association, Vol. 2: Symposia and Invited Papers, 1990, pp. 497–506.

Humphreys, 2004 – Humphreys, P. *Extending Ourselves: Computational Science, Empiricism, and Scientific Method*. Oxford: Oxford University Press, 2004, 192 pp.

Humphreys, 2009 – Humphreys, P. “The Philosophical Novelty of Computer Simulation Methods”, *Synthese*, 2009, vol. 169, no. 3, pp. 615–626.

Klaus, 1966 – Klaus, G. *Kybernetik und Erkenntnistheorie*. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin, 1966.

Lenhard, 2019 – Lenhard, J. *Calculated Surprises. A Philosophy of Computer Simulation*. Oxford: Oxford University Press, 2019, 256 pp.



McKee, 1964 – McKee, E. “Discussion: Computer Models and Simulation”, *Journal of Farm Economics*, 1964, vol. 46 (5), pp. 1350–1352.

Minsky, 1965 – Minsky, M. “Matter, Mind and Models”, *Proceedings of the IFIP Congress 65*, 1, 1965, pp. 45–49.

Morgan, 2003 – Morgan, M. “Experiments Without Material Intervention: Model Experiments, Virtual Experiments and Virtually Experiments”, in: Radder H. (ed.) *The Philosophy of Scientific Experimentation*. Pittsburgh: University of Pittsburgh Press, 2003, pp. 216–235.

Napoletani, Panza, Stuppa, 2011 – Napoletani, D., Panza, M., Struppa, D. “Agnostic Science. Towards a Philosophy of Data Analysis”, *Foundations of Science*. Springer Verlag, 2011, 16, pp. 1–20.

Naylor, Burdick, Sasser, 1967 – Naylor, T.H., Burdick, D.S., and Sasser, W.E. “Computer Simulation Experiments with Economic Systems: The Problem of Experimental Design”, *Journal of the American Statistical Association* 62, 1967, no. 320, pp. 1315–1337.

Parker, 2009 – Parker, W. “Does Matter Really Matter? Computer Simulations, Experiments, and Materiality”, *Synthese*, 2009, vol. 169, no. 3, pp. 483–496.

Reddy, 1987 – Reddy, R. “Epistemology of Knowledge-Based Systems”, *Simulation*, 1987, vol. 48, pp. 161–170.

Rheinberger, 2018 – Rheinberger, H. “Transpositions: From Traces through Data to Models and Simulations”, *Transpositions. Aesthetico-Epistemic Operators in Artistic Research*. Leuven University Press, 2018, pp. 215–224.

Rheinberger, Schwab, 2013 – Rheinberger, H., Schwab, M. “Forming and Being Informed: Hans-Jörg Rheinberger in Conversation with Michael Schwab”, in: Schwab, M. (ed.), *Experimental Systems: Future Knowledge in Artistic Research*, Orpheus Institute Series. Leuven: Leuven University Press, 2013, pp. 198–219.

Rohrlich, 1990 – Rohrlich, F. “Computer Simulation in the Physical Sciences”, *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association. The University of Chicago Press on Behalf of the Philosophy of Science Association*. Vol. 2: Symposia and Invited Papers, 1990, pp. 507–518.

Rosenblueth, Wiener, 1945 – Rosenblueth, A., Wiener, N. “The Role of Models in Science”, *Philosophy of Science*, 1945, vol. 12 (4), pp. 316–321.

Saam, 2017 – Saam, N. “What is a Computer Simulation? A Review of a Passionate Debate”, *Journal for General Philosophy of Science*, 2017, vol. 48 (2), pp. 293–309.

Shubik, 1960 – Shubik, M. “Simulation of the Industry and The Firm”, *The American Economic Review*, 1960, vol. 50, no. 5, pp. 908–919.

Sismondo, 1999 – Sismondo, S. “Models, Simulations and Their Objects”, *Science in Context*, 1999, no. 12, pp. 247–260.

Stachowiak, 1973 – Stachowiak, H. *Allgemeine Modelltheorie*, Wien: Springer, 1973.

Vaihinger, 1922 – Vaihinger, H. *Die Philosophie des Als Ob*, 7. und 8, 1876, Auflage, Verlag von Felix Meiner, Leipzig, 1922.

Winsberg, 2001 – Winsberg, E. “Simulations, Models, and Theories: Complex Physical Systems and Their Representations”, *Philosophy of Science*, (Proceedings), 2001, pp. 442–454.

Winsberg, 2010 – Winsberg, E. *Science in the Age of Computer Simulation*. Chicago and London: The University of Chicago Press, 2010, 152 pp.