

ЦИФРОВИЗАЦИЯ 2020-х И КИБЕРНЕТИЗАЦИЯ 1960-х: СОПОСТАВЛЕНИЯ И УРОКИ

© 2022 г. В. И. Данилов-Данильян

Институт водных проблем РАН, Москва, Россия

E-mail: vidd38@yandex.ru

Поступила в редакцию 25.07.2022 г.

После доработки 18.08.2022 г.

Принята к публикации 05.09.2022 г.

В статье анализируются причины неудач с внедрением математических методов и вычислительной техники в управление народным хозяйством СССР в 1960-е годы. Показана неадекватность моделей, предназначавшихся для построения системы оптимального функционирования экономики, тем целям, ради которых эта система создавалась. По мнению автора, подобная ситуация может повториться сейчас в ходе массовой цифровизации.

Поднимается проблема так называемых цифровых двойников, в первую очередь применительно к природным (прежде всего водным), экономическим и социальным объектам. Как и в 1960-е годы, наметилась тенденция игнорировать проблему адекватности конструируемого цифрового двойника его объекту в соответствии с целью моделирования.

Ключевые слова: математические методы в управлении, кибернетика, оптимальное планирование, модель, адекватность, миф, цифровизация, цифровой двойник, база данных, имитация, водный объект.

DOI: 10.31857/S0869587322120040

Цифровизацией в наши дни занимаются во всех государственных учреждениях, научных институтах, университетах, крупных фирмах и т.д. По вниманию, уделяемому СМИ научным направлениям, она сменила фаворита десяти-пятнадцатилетней давности — нанотехнологии. Сколько шума было в конце нулевых годов по поводу нанотехнологий! СМИ говорили и писали, что чудеса нанотехники радикально модернизируют промышленность, позволят изменить структуру экспорта, обеспечив преобладание в нём не сырья, а продукции hi-tech, и решат едва

ли не все наши проблемы. Естественно, не реши-ли. В точности по И. Ильфу, который в конце 1920-х годов в записной книжке заметил о радио: “При нём ожидалось счастье человечества. Вот радио есть, а счастья нет” [1, с. 171]. Никто из специалистов и не сомневался в таком исходе нанобума. А что соответствующее направление науки? Да как развивалось, так и развивается, хотя, конечно, не шум в СМИ, а бюджетные вливания ему серьёзно помогли. Но, вполне возможно, что помогли бы больше, если бы шум в СМИ не мешал сосредоточиться на сути дела.

Цифровизация и нанотехнологии — средства. Чрезмерное увлечение средствами отвлекает от целей, и об этом важном свойстве увлечений нельзя забывать. Есть опасения, что бюджетные финансы, выделяемые на цифровизацию, будут распределены и потрачены далеко не лучшим образом — имеются в виду не только научные направления, но и иницилируемая их результатами государственная деятельность. Это крайне нежелательно, особенно если учесть, что финансирование науки в России находится на уровне, совершенно не соответствующем статусу великой державы.



ДАНИЛОВ-ДАНИЛЬЯН Виктор Иванович — член-корреспондент РАН, научный руководитель ИВП РАН.

Приоритетными получателями государственных средств слишком часто оказываются те, кто лучше умеет обещать, в том числе добиться невыполнимого, а не те, кто адекватно ставит задачи и обладает потенциалом, необходимым для их решения. Среди цифровизационных проектов немало предложений осуществить неосуществимое, особенно в экологии, управлении природными ресурсами. Мифотворчество и утопизм вместо научной методологии служат источниками аргументации для таких инициатив и приносят успех их авторам именно потому, что несведущим наука часто кажется менее привлекательной, чем яркие краски прожектёрства. Иногда мифотворчество и утопизм сознательно и целенаправленно используются как средства для тривиального удовлетворения экономических интересов. В других случаях к ним невольно, не понимая мифологичности и утопичности провозглашаемого, обращаются энтузиасты, стремящиеся с помощью именно научных методов решить важнейшие социальные, экономические и иные практические задачи, хотя возможности науки и сложность задач оказываются несопоставимыми, по крайней мере, на текущий момент (академик И.Т. Фролов писал об этом ещё в 1983 г. [2, с. 15–26]).

Прежде чем рассмотреть опасности, которые несёт с собой современный утопизм, уже проникший в цифровизационный поток, полезно вспомнить один пример из нашей не слишком давней, но изрядно забытой истории. Новое, как часто случается, — это хорошо забытое старое.

ОПТИМАЛЬНОЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ ЭКОНОМИКИ: “НАУЧНЫЙ” МИФ И РЕАЛЬНОСТЬ

Нечто похожее на современную цифровизацию (хотя, конечно, масштабы были не те) у нас происходило после того, как партия (КПСС) и правительство (советское) отменили приговор кибернетике как “буржуазной лженауке” в конце 1950-х — начале 1960-х годов (первая в СССР книга о кибернетике [3] вышла в свет в 1958 г.).

Народное хозяйство СССР в те годы демонстрировало удивительные, на первый взгляд, противоречия. С одной стороны, строились гигантские заводы, мощные электростанции, осваивались богатейшие месторождения полезных ископаемых, ракетно-ядерный щит надёжно защищал страну от внешних угроз, успехи в космосе не оставляли сомнений в силе советской науки. С другой стороны, благосостояние советских людей росло явно не теми темпами, какие требовались для построения коммунизма к 1980 г., обещанному Н.С. Хрущёвым на XXII съезде КПСС в 1961 г. Несмотря на очевидное для всех усиление дефицита товаров широкого потребления, официальная пропаганда не без успеха убеждала на-

селение в обратном, но в 1962 г. наступил момент истины: власть была вынуждена поднять примерно на 30% цены на мясомолочные и некоторые другие продукты. Ностальгическую строку В.С. Высоцкого “Было дело — и цены снижали” [4, с. 479] можно отнести только к предыдущему периоду (1948–1961), так как инфляционная тенденция с 1960-х годов стала господствующей в советской экономике и со временем только усиливалась [5]. Преодолеть эту тенденцию, обеспечить реальное повышение благосостояния, сопоставимое с достигнутым развитыми капиталистическими странами, никак не удавалось. Глубинной причиной этого негатива с узкоэкономической точки зрения (отвлекаясь от надэкономических причин) были структурные деформации реального сектора народного хозяйства [6], которые только усиливались в результате стараний власти обеспечить товарное наполнение рынка за счёт расширения экспорта сырья.

Острота ситуации была понятна руководству страны. Все мыслящие экономисты (и далеко не только они) в конце 1950-х годов ясно видели, что народное хозяйство фактически в кризисе, но по-разному объясняли его причины и в качестве путей выхода из него предлагали различные способы, нередко несовместимые, взаимоисключающие. Простых и ясных, но при этом идеологически и политически приемлемых решений не находилось. Неуклюжие действия Н.С. Хрущёва — масштабное расширение посевов кукурузы, химизация народного хозяйства, образование Госэкономсовета как органа перспективного планирования (фактически над Госпланом СССР), переход от отраслевого (через союзные и республиканские министерства) к территориальному (через совнархозы в союзных республиках) принципу как главенствующему в управлении народным хозяйством, разделение обкомов на городские и сельские и пр. — укрепляли во мнении тех, кто полагал, что прежде всего нужны перемены в *системе управления экономикой*.

Кибернетика с момента своего возникновения позиционировала себя как наука об управлении. Естественно, что в начале 1960-х годов взоры желавших перемен обратились к этой науке. Правда, едва ли не единственное, что кибернетика могла сказать об управлении экономикой, состояло в утверждении, что необходимы обратная связь между системой управления и управляемой системой и математические модели последней. Но за кибернетикой стояли компьютеры, или, как их тогда называли, электронно-вычислительные машины (ЭВМ), на них уже решали различные научные и инженерные задачи, а с 1957 г. вычисляли траектории спутников — это производило особенно сильное впечатление. Неудивительно, что идею применить компьютеры для расчётов и других цифровых операций (группи-

ровка, сортировка, классификация данных и т.п.) в планировании выдвинул специалист именно по ЭВМ член-корреспондент АН СССР И.С. Брук в 1956 г. на общем собрании академии и получил активную поддержку своих коллег. Речь шла о переводе планирования на новую техническую базу: от счётно-аналитических машин и электрических арифмометров к ЭВМ. Ни о каких изменениях в методологии планирования, новых вычислительных алгоритмах, математических моделях речи ещё не шло. Реализацию этой идеи на практике начали в 1959 г.: был основан Вычислительный центр Госплана СССР, а вслед за ним вычислительные центры постепенно создавались во всех министерствах и ведомствах [7]. Выдвигалась даже идея организации единой государственной сети вычислительных центров [8]. Академик В.М. Глушков настаивал на ещё более радикальном предложении: организовать из многих тысяч существующих и предполагаемых к созданию вычислительных центров Общегосударственную автоматизированную систему (ОГАС) [7], в которой аккумулировалась бы не только вся используемая органами управления информация, но и множество других данных, до тех пор отсутствовавших в документообороте.

Через несколько лет стало ясно, что таким путём существенно улучшить качество планирования не удастся, одних лишь ЭВМ, автоматизирующих плановые расчёты по прежним схемам, недостаточно; компьютеры могут гораздо больше, но нужны новые подходы, математические модели, а возможно, и изменение организации планового процесса, самой системы управления. Более того, вопрос ставился уже не просто о совершенствовании управления экономикой, а о его *оптимизации*. Стало ясно, что сил технических специалистов, доминировавших в штатах вычислительных центров министерств и ведомств, для решения проблемы в такой постановке заведомо недостаточно, нужны экономисты (“смысловики”), математики (“формализаторы”), вычислители (“алгоритмисты”). И, конечно, к решению надо идти с двух сторон: развивать не только намечающееся новое научное направление (одно из возможных названий – экономическая кибернетика), но и – в непрерывном взаимодействии с ним – уже функционирующий комплекс вычислительных центров, рассматривая его как техническую базу будущей единой государственной системы управления экономикой.

На реализацию такого подхода было направлено Постановление ЦК КПСС и Совмина СССР от 21.05.1963 № 564 “Об улучшении руководства внедрением вычислительной техники и автоматизированных систем управления в народное хозяйство”. Этим постановлением образованы два института – Центральный экономико-математический институт (ЦЭМИ) АН СССР и НИИ по

проектированию вычислительных центров и систем экономической информации (НИИ ЦСУ СССР), повышен статус ВЦ Госплана СССР. Это очень серьёзные шаги. На фоне непрерывных дискуссий об экономической реформе, из которых ничего путного так и не вышло, и растущей веры в неограниченные возможности ЭВМ родилась наивная надежда на то, что кибернетизация поможет вылечить болезни советской экономики.

Указания сверху заняться кибернетизацией, причём непременно всем, не было, поэтому из учёных, имевших отношение к экономике, кибернетике, ЭВМ, математическому моделированию, сформировалось несколько групп с принципиально несходными позициями. Необходимость применения математических методов и ЭВМ в управлении экономикой никто не отрицал, разногласия начинались, как только возникал вопрос о границах кибернетизации и её возможностях. Крайнюю позицию занимали экономисты и математики, полагавшие необходимым построить на основе кибернетических и/или математических конструкций (не обязательно моделей в строгом смысле слова) *принципиально новую экономическую теорию социализма* и на этой основе решать все прикладные вопросы. Конечно, такие намерения открыто не провозглашались, против “священной коровы” – официальной политэкономии социализма – прямо выступать было нельзя, использовался эзопов язык, всевозможные недоговорённости, маскировка математическими формулами, терминами и пр., но квалифицированная часть аудитории понимала, о чём идёт речь.

Официально провозглашаемой целью работ этого направления, возглавлявшегося ЦЭМИ АН СССР, было создание проекта системы планирования народного хозяйства страны, причём обязательно *оптимального* планирования, на меньшее эти революционеры не соглашались. Однако считать оптимальный план (натуральные показатели деятельности социалистических предприятий – объёмы производства и потребления) недостаточно, надо обеспечить его выполнение, заинтересовав исполнителей (социалистические предприятия) в строгом следовании плану. Предполагалось, что этого можно добиться назначением соответствующих цен, оптимальных, как и сам план. Более того, при не слишком значительных отклонениях условий выполнения плана (в силу различных случайных событий природного, социального или внешнеэкономического характера) от заложенных при его составлении оптимальные цены должны были ориентировать исполнителей в нужном направлении. (Значительные отклонения требуют пересоставления самого плана.) Эту концепцию, существенно расширенную в сравнении с первоначально предполагавшейся, в ЦЭМИ стали называть *систе-*

мой оптимального функционирования экономики (СОФЭ).

Как формулировалось в многочисленных публикациях (например [9, с. 117, 118]), концепция СОФЭ основывалась на трёх “аксиомах”: 1) существует цель развития социалистической экономики¹, которую можно математически выразить через показатели плана²; 2) в каждый момент времени используемые ресурсы ограничены; 3) экономика имеет иерархическую структуру, причём в случае оптимального плана, включающего как натуральные, так и ценовые показатели, каждому элементу иерархии выгодно именно то, что выгодно народному хозяйству в целом. Отсюда фактически делался вывод, что экономику можно – во всех деталях! – описать блочной моделью линейного программирования (может быть, посложнее: нелинейного стохастического с элементами дискретности), точнее – единой системой таких моделей. Хорошо известно, что каждой линейной или выпуклой задаче математического программирования (прямой) соответствует двойственная задача, неизвестные которой – оценки оптимального плана³, как бы стоимостные оценки тех, условно говоря, ресурсов, количество которых задано ограничениями прямой задачи. Именно этот математический факт лежал в основе уверенности сторонников СОФЭ в том, что, построив модель или систему моделей оптимального планирования, на основе принципа двойственности можно будет вычислить и систему цен на все виды производимой продукции, как оптовых, так и розничных.

В ноябре 1966 г., через три с половиной года после Постановления № 564, в Научном совете по проблеме “Экономические закономерности развития социализма и его перерастания в коммунизм” при Отделении экономики АН СССР состоялась дискуссия по оптимальному планированию [9]. Был представлен доклад директора ЦЭМИ академика Н.П. Федоренко, отражавший позицию радикальных новаторов. В ходе дискус-

сии активно обсуждались прежде всего такие вопросы, как: соответствуют ли цены оптимального плана общественно необходимым затратам труда; оригинальна ли теория оптимального планирования или она вторична по отношению к теории трёх факторов (восходящей к Ж.Б. Сэю); совместим ли маржинализм⁴, который явно просматривается в некоторых утверждениях новаторов, с теорией трудовой стоимости и т.п. Но удивительно, что по прошествии трёх с половиной лет целенаправленных исследований возможностей применения математики и кибернетики в управлении социалистической экономикой никто не поставил вопроса об *адекватности* обсуждавшихся (точнее, подразумевавшихся в обсуждении, но ещё отнюдь не построенных) математических моделей тем объектам, которые, как предполагалось, этими моделями отображаются в соответствии с поставленными задачами. Видимо, догматики не смогли этого сделать вследствие полного отсутствия знаний о моделировании, а хорошо подготовленные и опытные прагматики решили, что откровения о реальных возможностях экономико-математического моделирования наверняка повредят делу внедрения информационно-вычислительной техники в управление; радикальные же новаторы были до такой степени загипнотизированы творимым ими самими мифом, что утратили способность относиться к нему критически. Что же это был за миф?

В отличие от рыночной системы, где цены стихийно формируются в ходе функционирования рынка, в централизованной системе они устанавливаются органами планирования. Классики марксизма-ленинизма не оставили никаких рецептов относительно того, как это надлежит делать, а их последователи, развивая политическую экономию социализма, так и не разработали никаких методик планового ценообразования, хотя непрерывно и притом очень горячо спорили о его теоретических основах. Ограничиться тем, что цены в социалистическом хозяйстве должны балансировать спрос и предложение, – значит заниматься имитацией рынка, в то время как плановая цена должна выполнять гораздо более важные и широкие функции. Однако вопросы о том, что это за функции и как рассчитать такие цены, оставались без ответа. Концепция СОФЭ предлагала подход к решению всех проблем, связанных с ценообразованием в централизованной системе управления народным хозяйством, причём подход, основанный на использовании математики и

¹ Точная формулировка так называемого основного экономического закона социализма по первоисточнику: “обеспечение максимального удовлетворения постоянно растущих материальных и культурных потребностей всего общества путём непрерывного роста и совершенствования социалистического производства на базе высшей техники” [10, с. 40]. Этот закон не подвергался ни малейшему сомнению даже после разоблачения культа личности его автора, вплоть до конца 1980-х годов.

² В математике оптимизируемую функцию называют *целевой функцией*. По необъяснимым причинам в СОФЭ вместо этого термина обычно использовался другой – *критерий оптимальности*, хотя терминологически корректно так называть вовсе не оптимизируемую функцию, а условие, при выполнении которого достигается оптимум.

³ Оценки оптимального плана называют также оптимальными оценками, объективно обусловленными оценками (по Л.В. Канторовичу), множителями Лагранжа и пр.

⁴ Маржинализм (фр. *marginalisme*, от лат. *margo* (*marginis*) – край) – направление в экономике, признающее принцип *снижающейся предельной полезности*, когда каждая последующая единица потребляемого блага становится для хозяйствующего субъекта всё менее ценной (вследствие перенасыщения), фундаментальным элементом теории стоимости. (*Прим. ред.*)

кибернетики, метода моделирования, с перспективной полной компьютеризации всех расчётов. Это производило сильное впечатление на многих теоретиков и даже практиков социалистического планирования. И никто из участников дискуссии не воскликнул: “А король-то голый!”, хотя для этого были все основания. А именно: модели, которые предполагалось построить для составления оптимального плана, не могли быть ни линейными, ни выпуклыми, никакие двойственные задачи им не соответствовали и никаких оценок оптимального плана для этих моделей существовать не могло (напомним: речь идёт о задачах математического программирования нелинейных, невыпуклых, стохастических, с элементами дискретности⁵). Можно приводить и другие аргументы в пользу мифологичности концепции СОФЭ, но вполне хватает этого одного⁶.

Дискуссия констатировала наличие существенно различных точек зрения на обсуждаемую проблему и необходимость сотрудничества для выработки единого подхода. Поскольку все участники остались на своих прежних позициях и никакого сдвига в развитии сотрудничества не произошло, есть все основания утверждать, что дискуссия закончилась ничем. Ничего значительного, сопоставимого с заявлявшимися целями не дали и продолжавшиеся три десятилетия попытки разработать СОФЭ⁷. А применение компьютеров в управлении экономикой России по сей день почти полностью сводится к выполнению рутинных расчётных процедур и использованию баз данных.

К 1980-м годам относится кампания информатизации, направленная на расширение использования информационно-вычислительной техники во всех областях деятельности, не только в управлении экономикой. В этом случае не было претензий на получение нового знания, создание новых теорий и т.п., не было даже намерения создавать что-либо подобное ОГАС В.М. Глушкова — единое, всеохватное, централизованно управляемое. Всё было гораздо прагматичнее: внедрить

⁵ Элементы дискретности в моделях планирования неизбежны, в частности, когда требуется сделать выбор одного из нескольких возможных альтернативных вариантов (например, проектов сооружения нового предприятия).

⁶ Как в случае с Наполеоном: однажды он приехал в какой-то форт, но артиллерийского салюта в его честь не прозвучало. “Почему?” — спросил император начальника форта. “Ваше Величество, тому есть множество причин”, — отвечал начальник. “Во-первых, форт не имеет ни одного орудия”, — “Достаточно”, — прервал его Наполеон.

⁷ Конечно, это ни в коей мере не умаляет теоретического и прикладного значения математического программирования или кибернетики, огромной ценности компьютерной техники, ставшей незаменимым инструментом в жизни современного человека. Попытка неправильного использования средства бросает тень на пользователя, а вовсе не на средство.

компьютеры там, где они в развитых странах уже полтора-два десятилетия широко использовались, а в СССР только ещё ждали своего часа. Можно констатировать, что эта кампания дала заметные результаты: был в значительной мере компьютеризирован конторский труд, получили широкое распространение базы данных, системы автоматизированного проектирования, АСУ технологических процессов и пр. Всё это стало возможным благодаря скачку в развитии информационно-вычислительной техники, в частности, появлению персональных компьютеров и новых средств связи.

Сколько раз в 1960-е годы приходилось слышать заявления такого рода: “Создайте ЭВМ со скоростью миллиард операций в секунду, и мы рассчитаем оптимальный план для экономики СССР”. Конечно, подобные обещания давались не для печати, но в ряде публикаций тех лет они следуют из подтекста [11]. Отсчёт скорости современных суперкомпьютеров начинается с десяти триллионов операций в секунду (точнее — флопсов), но уже никто не провозглашает, что может составить на таком компьютере оптимальный план для экономики Российской Федерации или хотя бы Коста-Рики. И дело совсем не в скорости или объёме памяти компьютеров либо их системы, а в возможности формализации процессов, которыми собираются управлять. А эта возможность зависит от двух факторов: характера самих процессов и нашего понимания этого характера. К сожалению, характер невероятно сложен, а наше понимание, честно говоря, довольно примитивно.

ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ ВМЕСТО МОДЕЛЕЙ – МИФ ЦИФРОВИЗАЦИИ

Волна цифровизации накрывает сейчас все направления государственной деятельности, и есть опасность, что среди тех задач, которые при этом будут пытаться решать, окажется немало мнимых, ненужных, неграмотно поставленных. Новые ошибки — очень часто повторение хорошо забытых или непонятых старых ошибок. По-другому это называется “наступать на одни и те же грабли”. Надо выяснить, какие “грабли” лежат на пути нынешней цифровизации. Постараемся описать хотя бы некоторые из опасных ловушек, используя примеры главным образом из области эколого-гидрологических исследований, необходимых для разработки и реализации мер по оздоровлению наших рек, по нормализации экологической обстановки в их бассейнах, по рационализации водопользования.

Представляется, что главная опасность связана с непониманием сущности метода моделирования (а следовательно, и компьютерного моделирования). Сейчас вошёл в моду слоган “цифро-

вой двойник”. Вот как определяет это понятие Википедия: “Цифровой двойник (англ. digital twin) – цифровая копия физического объекта или процесса, помогающая оптимизировать эффективность бизнеса. Концепция “цифрового двойника”... призвана помочь предприятиям быстрее обнаруживать физические проблемы, точнее предсказывать их результаты и производить более качественные продукты” [12]. Цитирование Википедии – вынужденное, так как ни в книгах, ни в учебниках, ни тем более в энциклопедиях этот ныне популярный термин у нас пока не встречается. Приведённое описание интересующего нас понятия признать полноценным определением вряд ли возможно, поскольку неясно, что такое “цифровая копия”. “Копия” несколько не лучше “двойника”, это понятие не подводит определяемое под более общий класс объектов и не наделяет его какими-либо специфическими признаками.

Но в этом описании есть два справедливо отмеченных важных момента: цель построения цифрового двойника – “оптимизировать эффективность бизнеса” (а вовсе не содействовать научным исследованиям и обогащению наших знаний), класс решаемых проблем – физические, а точнее, как следует из приведённой цитаты и дальнейшего текста в Википедии, – технические. На самом деле ограничение сферы применения методологии техническими проблемами означает, что цифровые двойники строятся для технических систем. Правомерно ли распространение методологии на нетехнические системы – природные, социальные, экономические? Ответ полностью зависит от того, что всё же понимается под цифровым двойником и какие задачи предполагается решать с его помощью.

В теории моделирования сложных систем всегда подчёркивается, что говорить о модели объекта вообще – некорректно. Правомерно говорить о модели объекта только применительно к конкретной цели, которую относительно этого объекта хочет достичь исследователь, прогнозист, планировщик, управленец и пр.⁸ Для многих задач небесной механики планету, в том числе Землю, достаточно рассматривать как материальную точку, модель (описание) которой сводится к девяти числам: момент времени, масса, три координаты точки, величина скорости и три координаты направления движения. Однако для целей, например, климатологии такая модель планеты совершенно неадекватна, не говоря уже о других научных дисциплинах. Если требуется оценить, сколько воды может удержать водохранилище при половодье или паводке, чтобы предотвратить наводнение, нужна одна модель, а если необходи-

мо прогнозировать изменение качества воды в нём при застройке зон санитарной охраны – совсем иная. Моделей, которые адекватны всем интересующим нас целям, для сложных систем построить невозможно. Это свойство сложных систем некоторые методологи даже принимают в качестве определения сложной системы. А из всех материальных систем (объектов) “несложными” являются только технические (но, конечно, не все, к АЭС или суперкомпьютерам, например, это не относится). С этих позиций к определению из Википедии претензий нет: в нём сказано, что цифровые двойники помогают “оптимизировать эффективность бизнеса”. Конечно, это нельзя считать чёткой постановкой цели, но во всяком случае тут характеризуется некоторый класс целей, можно сказать, предназначение цифровых двойников. Не имея внятного определения, попробуем понять, для каких объектов и с какими целями строятся конструкты, которым присваивается такое название.

Как представляется, большинство цифровых двойников – это базы данных (БД) нового поколения, с методологической точки зрения принципиально не отличающегося от предыдущего. Возросли мощности компьютеров, и появились возможности значительно увеличить параметры баз данных. Но принципы построения систем управления БД существенно не изменились: примерно те же, что и раньше, иерархические структуры, классификации, поисковые алгоритмы, способы пополнения и обновления информации в режиме онлайн и т.д. Это относится к БД, используемым во всех областях, в том числе и в научных исследованиях.

Не слишком трудно (были бы деньги) сформировать БД о персонале огромной фирмы с сотней тысяч работников, где каждый из них будет подробно описан (десятки типов сведений), куда будет заноситься информация о результатах работы за каждый день через датчики, либо оборудованные на рабочем месте (автоматические, подсоединённые к оборудованию), либо из персональных компьютеров, на которых соответствующие сведения вводятся самим исполнителем, и т.д. и т.п. Конечно, это уже не просто база данных, это – big data, “большие данные”, если воспользоваться ещё одним новомодным слогоном. Однако даже при огромном объёме вмещаемой информации, таком, что уже не удаётся придумать, чем бы ещё можно было её пополнить, такая БД не будет ни моделью фирмы, ни моделью коллектива работников фирмы, хотя – при хорошей организации и надлежащем программном обеспечении – она очень полезна для отдела кадров, бухгалтерии и менеджмента. Стоит ли называть её цифровым двойником коллектива работников фирмы, остаётся вопросом.

⁸ Методологические основы моделирования сложных систем достаточно подробно освещаются, например, в работе [13].

Нетрудно устроить и БД, в которой будет содержаться информация обо всех деревьях городского лесопарка с несколькими десятками или сотнями тысяч деревьев. Если имеются надлежащим образом оборудованные дроны и системы обработки получаемых с них снимков, то для каждого дерева можно определить географические координаты (с точностью до дециметров) и его биологический вид, а также оценить размеры кроны (точнее, её проекции на горизонтальную плоскость). Можно добавить информацию, полученную контактными способами: предполагаемый возраст каждого дерева, диаметр его ствола на заданной высоте от поверхности и т.п. Такая БД может помочь не в “оптимизации эффективности бизнеса”, а в достижении воспитательных, образовательных, эколого-пропагандистских целей. Но ни в коей мере она не является моделью экосистемы лесопарка, поэтому называть подобную БД цифровым двойником лесопарка — примерно то же, что сказать о цифровой фотографии, будто она служит цифровым двойником человека, на ней изображённого.

Применительно к технологическим системам (автомобилям, дронам, телевизорам, генераторам электрического тока, прокатным станам, установкам термического крекинга и т.п.) в слова “цифровой двойник” вкладывается совсем другой смысл, нежели подразумеваемый, когда говорят о БД. Цифровой двойник этих систем фактически представляет собой компьютерную имитационную модель, предназначенную для ответа на вопрос, как будет функционировать объект при тех или иных внешних условиях, управляющих воздействиях, выходе из строя отдельных его элементов и т.п. В такой модели описаны *все элементы системы* (со всеми их техническими характеристиками и всеми предполагаемыми состояниями) и *все связи между ними, все реакции элементов* на воздействия на них (по бихевиористской схеме “стимул—реакция”). Естественно, имитируется поведение системы не в любых мыслимых обстоятельствах; класс рассматриваемых (возможных, допустимых) ситуаций априори ограничен и чётко описан; он включает не только все штатные режимы и ситуации, но и самые существенные, наиболее вероятные отклонения от них. Представляется, что называть цифровым двойником объекта подобную имитационную модель вполне корректно. С её помощью можно прогнозировать последствия комбинированных (сочетанных) воздействий на моделируемую систему, выявлять слабые (критические) места в ней, оценивать возможные изменения конструкции (усиление каких-либо её элементов и пр.) и многое другое.

Возможно ли построить подобные цифровые модели для нетехнических систем — биологических, экологических, гидрологических, социальных, экономических? На наш взгляд, для коррект-

ности использования слова “двойник” необходимо, как минимум, чтобы в нём индивидуально были описаны все элементы системы и все необходимые для её функционирования связи между ними хотя бы при нормальных условиях. Выполнение уже этого требования представляется крайне маловероятным по причине чрезвычайной многочисленности элементов и связей между ними в упомянутых системах. Более того, о многих элементах мы ничего не знаем. Так, биологи спорят о том, какой процент биологических видов остаётся неизвестным науке, а ведь все такие организмы — элементы интересующих нас экосистем, выполняющие свою экологическую работу. Кстати, для примера напомним, что в 1 см³ пресной воды из природного объекта содержится до 1 млн живых организмов. Если же, как и делается в науке, не рассматривать всё множество индивидуальных элементов, а хотя бы некоторые из них объединить в агрегаты, то получится не двойник, а модель — образ объекта, упрощённый в соответствии с целью моделирования и более удобный для изучения, чем сам объект (или его копия, двойник, пусть даже и цифровой).

Далее, если в технических системах реакции на воздействия и само возникновение воздействий описываются детерминистски или как случайные величины с известными статистическими характеристиками, то для нетехнических систем характерно наличие неопределённостей, не поддающихся статистическому описанию. И дело не только в недостаточности наших знаний, но сплошь и рядом в самой природе явлений. По-видимому, принципиально непознаваемо, когда распадётся конкретный атом радиоактивного элемента. Если таких атомов очень много, можно оценить время, за которое распадётся их половина (то есть рассчитать период полураспада). Похожие случаи (с точки зрения количественного оценивания ситуации) типичны для нетехнических систем. В экологии, биологии, гидрологии, социологии, экономике и пр. постоянно приходится рассматривать не только статистические ансамбли, но и отдельные их составляющие (впрочем, и в экспериментальной физике отдельные атомы и даже отдельные элементарные частицы постоянно становятся объектами наблюдений). Однако и ансамбли часто не удовлетворяют аксиоматике теории вероятностей и не могут рассматриваться как генеральные совокупности. В объектах, изучаемых с привлечением методов механики сплошной среды, часто вообще не удаётся понять, что можно было бы рассматривать в качестве элементов: что такое, например, “элемент реки”?

Специалистам по цифровизации, далёким от гидрологии, но заинтересовавшимся проблемами охраны и восстановления водных объектов, кажется, что стоит только разместить в реке и на

территории её бассейна достаточное количество разнообразных датчиков и учредить станцию приёма непрерывно поступающей от них информации, оснащённую соответствующим оборудованием и программным обеспечением, и цифровой двойник реки будет готов, в компьютере потечёт “цифровая река”. Увы, это далеко не так. В лучшем случае таким путём можно соорудить цифровой двойник мониторинговой системы, только зачем он нужен? Для построения имитирующего цифрового двойника необходимо знать свойства всех элементов системы и/или их ансамблей, закономерности их взаимодействий, их реакций на всевозможные внешние влияния и т.п. В конкретных случаях цифровые описания этих закономерностей надо калибровать *ad hoc* и т.д. Вполне адекватное представление о таких проблемах гидрологии и смежных дисциплин можно получить из работы [14].

Но дело не только в отмеченных (чрезвычайных!) трудностях и множестве других, оставленных здесь за кадром. Возникает вопрос: нужен ли имитирующий цифровой двойник реки или её бассейна, озера или водохранилища, участка территории над многолетнемерзлыми породами, испытывающего потепление климата, экосистемы, деградирующей под усиливающимся антропогенным воздействием, производственного предприятия, общественной организации и других самых разнообразных сложных нетехнических систем? Обо всех мыслимых системах говорить не будем, а относительно, например, водных объектов представляется, что не нужен. Отнюдь не устарел обычный, традиционный подход к их изучению методами компьютерных расчётов по математическим моделям. Если мы хотим что-то изменить в реальности, для этого должны быть причины, побуждающие поставить конкретные научные или практические цели. Пусть эти цели таковы, что их достижение предполагает использование компьютерных технологий. Достаточно ли построить БД или нужны более сильные средства? Если нужны, значит, надо заниматься моделированием. Модель (или система моделей), как уже отмечалось, должна быть моделью объекта не “вообще”, а ориентированной на конкретную цель. Без такой ориентации даже при непомерных затратах денег, сил и времени толку не будет никакого.

Основная гидрологическая проблема, которую собираются решать посредством цифровых двойников, — оздоровление рек и их бассейнов. Для решения этой задачи прежде всего надо выяснить, известны ли основные источники загрязнения. Если они известны, то спланировать первые шаги не слишком трудно. В индустриально развитых районах таковыми чаще всего служат организованные стоки промышленных предприятий и городская канализация, на них приходит-

ся самая большая доля попадающих в воду реки поллютантов; в сельскохозяйственных районах преобладает диффузное загрязнение — сток от неточечных (распределённых) источников, прежде всего с сельскохозяйственных полей (но также с территорий населённых пунктов, промплощадок, дорог, полигонов для хранения отходов, свалок и др.). Тонкий количественный анализ здесь очень непросто, особенно с диффузным загрязнением, причём прямые измерения (с помощью датчиков и пр.) непосредственно мало что дают, получаемую с их помощью информацию вкуче с различными другими данными надо обрабатывать на сложных моделях, чтобы получить хотя бы приблизительные оценки. Средства моделирования постоянно развиваются, обогащаются принципиально новыми подходами (нейронные сети, фракталы и др.).

Но для всех таких разысканий цифровой двойник не требуется! Создание этого монстра цифровизации съест все те средства, которые можно было бы потратить на очистные сооружения для самых опасных источников загрязнения. И первый шаг для решения задач экологического оздоровления, как правило, состоит в выборе одного-двух мероприятий из не слишком большого их набора. Конечно, для обоснования выбора нужны и расчёты, и модели, но не цифровой двойник. Не понадобится он и для дальнейших шагов. В принципе сама задача оптимального размещения датчиков для обеспечения информацией компьютерных моделей, используемых в управлении, вполне решается методами традиционного моделирования, и нет никакой необходимости в цифровом двойнике, если соответствующая наблюдательная сеть построена.

Обычно первое же столкновение с реальностью охлаждает неумеренный пыл энтузиастов цифровизации. Они прикидывают, сколько денег, времени и сил потребуется для создания цифрового двойника какой-нибудь малой реки, то есть с площадью бассейна менее 2000 км². Создать предполагается путём импровизированного размещения как можно большего количества датчиков и организации центра приёма информации. Как и для чего обрабатывать эту информацию, предполагается решить потом; возможно, созданный таким образом цифровой двойник сам ответит на подобные вопросы — всё-таки, искусственный интеллект! Но дороговато будет. А если речь идёт об Обь-Иртышском бассейне площадью 2990000 км²? Комментарии здесь не требуются, как и разговоры о “революционизирующей цифровизации Обь-Иртышского бассейна” [15].

Как бы ни трактовать понятие “цифровой двойник”, оно означает одну из возможных информационных компьютерных моделей — хороших или плохих, полезных или бесполезных,

чрезвычайно затратных или приемлемых по цене. Но коль скоро цифровой двойник — это модель, при его создании прежде всего требуется, выбрав объект и цель моделирования, задаться вопросом об адекватности конструируемой модели её объекту в соответствии с поставленной целью. Это не было сделано разработчиками СОФЭ, желавшими получить от предполагавшихся моделей то, чего они заведомо дать не могли (систему цен), и ту же ошибку, хотя и в другом контексте, повторяют некоторые современные творцы цифровых двойников, убеждённые во всемогуществе компьютеров и вообще не сопоставляющие модель с масштабом её объекта и целью построения.

Для развития гидрологии и для практической деятельности по управлению водными ресурсами — оздоровлению наших рек и водохранилищ, рационализации водопользования, защите от наводнений и т.д. — нам многого не хватает. Прежде всего финансовых средств. Этим вопросам уделялось явно недостаточное внимание и в СССР, и в 1990-е годы, когда страна переживала тяжелейший экономический кризис, и в период 2000—2007 гг., отмеченный нефтедолларовым дождём, и в недавние кризисные годы, и сейчас. Не хватает кадров: в стране, занимающей второе место в мире по объёму возобновляемых водных ресурсов, ежегодно выпускается ничтожное число специалистов-гидрологов. Не хватает информации: сеть гидрологических наблюдений всё ещё не восстановлена до уровня конца 1980-х годов (по современным меркам, совершенно недостаточного). Не хватает внимания к этой проблематике со стороны политиков, СМИ, общественных организаций, населения. Хотя в последние два-три года в этом отношении можно отметить некоторый позитивный сдвиг. В то же время шумиха вокруг цифровизации (подобное явление Клод Шеннон описал в отношении теории информации в статье “Бандвагон” [16] ещё в 1956 г.) будет только отвлекать и средства, и кадры, и внимание от серьёзных дел как в управлении водными ресурсами, так и в других жизненно важных сферах.

ИСТОЧНИК ФИНАНСИРОВАНИЯ

Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН “Институт водных проблем РАН” (тема FMWZ-2022-0002).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ильф И., Петров Е.* Собр. соч. В 5 т. Т. 5. М.: Художественная лит-ра, 1996.
2. *Фролов И.Т.* О человеке разумном и гуманном, а также о биокиборгах, бессмертии и воскрешении мёртвых и вообще о мифологии в век НТР // Мифология века НТР: утопии, мифы, надежды и реальность новейших направлений науки. М.: ЛЕНАНД, 2020.
3. *Поletaев И.А.* Сигнал. О некоторых понятиях кибернетики. М.: Советское радио, 1958.
4. *Высоцкий В.* Сочинения. В 2 т. Т. 1. М.: Художественная лит-ра, 1991.
5. *Корнай Я.* Дефицит / Пер. с венг. М.: Наука, 1990.
6. *Данилов-Данильян В.И.* Бегство к рынку. М.: Дело, 1991.
7. *Кутейников А.В.* Первые проекты автоматизации управления советской плановой экономикой в конце 1950-х и начале 1960-х гг. — “электронный социализм”? // Экономическая история. Обзорные: журнал. 2011. Вып. 15. С. 124—138.
8. *Кобринский Н.Е., Пугачёв В.Ф., Инн Л.С., Олейник Ю.А.* Некоторые вопросы структуры и организации единой государственной сети вычислительных центров // Бюллетень Государственного Комитета по координации научно-исследовательских работ СССР. 1964. № 1.
9. Дискуссия об оптимальном планировании. М.: Экономика, 1968.
10. *Сталин И.* Экономические проблемы социализма в СССР. М.: Госполитиздат, 1952.
11. *Каценелинбойген А.И., Овсиенко Ю.В., Фаерман Е.Ю.* Методологические вопросы оптимального планирования социалистической экономики. М.: ЦЭМИ АН СССР, 1966.
12. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A6%D0%B8%D1%84%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%BE%D0%B9_%D0%B4%D0%B2%D0%BE%D0%B9%D0%BD%D0%B8%D0%BA (дата обращения 17.08.2022).
13. Экономико-математический энциклопедический словарь / Гл. ред. В.И. Данилов-Данильян. М.: Большая Российская энциклопедия; ИНФРА-М, 2003.
14. Избранные труды Института водных проблем РАН (1967—2017). В 2 т. М.: Курс, 2017.
15. *Девянин И.* Реки: реальные и цифровые // Кузбасс. Ежедневная областная газета. 4 июля 2019 г.
16. *Шеннон К.* Работы по теории информации и кибернетике. М.: Иностранная литература, 1963.