УДК 330.46 JEL O32, B41, O3 DOI 10.26425/1816-4277-2023-7-71-80

Генезис методологии системно-динамического моделирования и перспективы ее применения для решения задач цифровизации корпоративного управления изменениями

Соколов Дмитрий Александрович

Канд. экон. наук, ст. преп. каф. математических методов в экономике и управлении, мл. науч. сотр.
ORCID: 0000-0001-8745-0677, e-mail: da_sokolov@guu.ru

Государственный университет управления, г. Москва, Россия

Аннотация

Целью настоящего исследования является определение основных направлений и концептуальных подходов методологического обеспечения для решения проблем и задач цифровизации корпоративного управления изменениями и для совершенствования организаций. В рамках исследования проведён анализ перспектив применения методологии системно-динамического имитационного моделирования в условиях цифровой трансформации экономики и управления. Вопросы освоения областей роста организации и проведения экономически обоснованных преобразований, реализуемых в том числе через стратегию управления инвестициями, исследованы в рамках системно-динамического моделирования экономических систем, предложенного Дж. Форрестером. Осуществлено применение такого моделирования для усовершенствования организационных форм и повышения эффективности управления организациями. В статье рассмотрены актуальные проблемы и ключевые задачи цифровизации корпоративного управления с применением системного подхода. Исследованы тенденции совершенствования методологии системно-динамического имитационного моделирования. Приведена схема развития этапов системно-динамического моделирования, представленных в классической литературе по системной динамике. Предложены варианты развития методологии, основанные на синтезе классических подходов с передовыми практиками корпоративного управления и актуальными разработками зарубежных, а также отечественных исследователей. В итоге предложенный автором синтез позволит создать модели, построенные на основе объединения методологий, и наиболее эффективно осваивать области роста организаций, а также проводить экономически обоснованные преобразования, реализуемые, в том числе через стратегию управления инвестициями.

Ключевые слова

Системный анализ, системная динамика, управление изменениями, имитационное моделирование, цифровые двойники

Для цитирования: Соколов Д.А. Генезис методологии системно-динамического моделирования и перспективы ее применения для решения задач цифровизации корпоративного управления изменениями// Вестник университета. 2023. № 7. С. 71–80.

© Соколов Д.А., 2023.

Статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0. всемирная (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

The methodology genesis of system-dynamic modeling and the prospects of its application to solve the corporate change management's digitalization problems

Dmitriy A. Sokolov

Cand. Sci. (Econ.), Senior Lecturer at the Department of Mathematical Methods in Economics and Management, Junior researcher
ORCID: 0000-0001-8745-0677, e-mail: da_sokolov@guu.ru

State University of Management, Moscow, Russia

Abstract

The paper presents identification of the main directions and conceptual approaches of methodological support for corporate change management digitalization and improvement of organizations. Within the framework of the study, the prospects of applying the methodology of system-dynamic simulation modeling in the conditions of digital transformation of the economy and management are analyzed. The issues of mastering the areas of growth of the organization and carrying out economically justified transformations, implemented including through the investment management strategy, are investigated within the framework of system-dynamic modeling of economic systems proposed by J. Forrester. The use of such modeling has been carried out to improve organizational forms and increase the efficiency of organizations' management. The article discusses the current problems and key tasks of digitalization of corporate governance using a systematic approach. The tendencies of improving the methodology of system-dynamic simulation modeling are investigated. The development scheme of the system-dynamic modeling's stages presented in the classical literature on system dynamics is given. Variants of methodology development based on the synthesis of classical approaches with advanced corporate governance practices and current works of foreign, Russian researchers are proposed. Ultimately the synthesis proposed in the paper will make it possible to create models based on the synthesis of methodologies, and most effectively master the growth's areas of organizations, as well as to carry out economically justified transformations implemented, including through an investment management strategy.

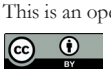
Keywords

System analysis, system dynamics, change management, simulation modelling, digital twins

For citation: Sokolov D.A. (2023) The methodology genesis of system-dynamic modeling and the prospects of its application to solve the corporate change management's digitalization problems. *Vestnik universiteta*, no. 7, pp. 71–80.

© Sokolov D.A., 2023.

This is an open access article under the CC BY 4.0 license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

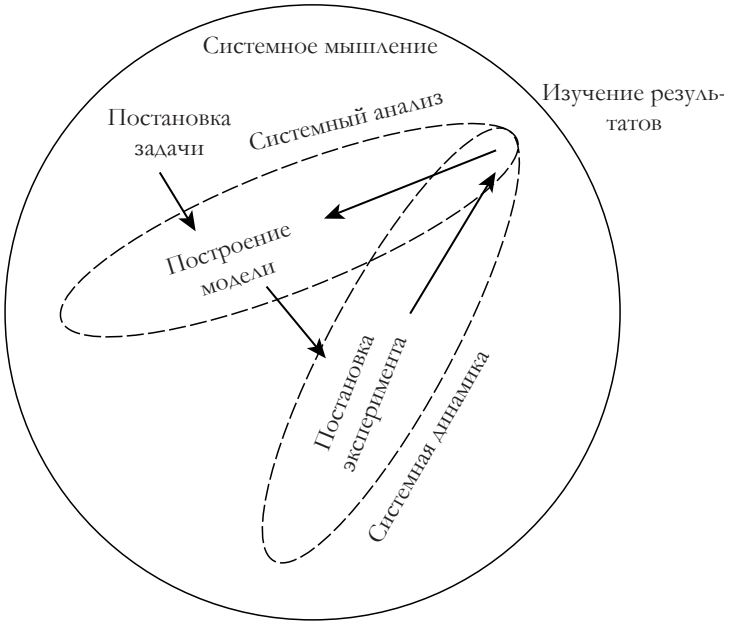


ВВЕДЕНИЕ

В практике современного управления остро стоит вопрос выработки эффективной методики, которая может быть положена в основу результативной цифровизации корпоративного управления изменениями и совершенствования организаций. Наиболее перспективную базу для такой методологии представляют системное мышление, системный анализ и системная динамика. В основе всех этих подходов лежат два ключевых понятия – причинно-следственные диаграммы и контуры обратной связи. Анализ причинно-следственных взаимосвязей позволяет объяснить, почему при определённых условиях происходят те или иные изменения, а развитый технологический инструментарий способствует созданию на основе системного анализа модели сложных структур постановке экспериментов, работая над решением самых различных проблем.

В современном мире использование и практическое применение компьютерных моделей больше не являются уделом исключительно программистов, инженеров или математиков Простые инструменты визуального мышления доступны менеджерам и специалистам любого уровня и профиля. Результаты исследования 500 крупнейших фирм США показали, что компьютерное моделирование занимает второе место по популярности применения в практике управления: 87,1 % фирм эпизодически или постоянно применяли машинную имитацию [1]. При этом ключевой компетенцией при построении компьютерных моделей становится не умение программировать, а понимание предметной области и способности к системному мышлению и анализу. Кроме того, имитационные модели становятся все более сложными, масштабными и дорогими в обслуживании, на их построение нередко уходят годы. Это обуславливает необходимость использовать методику их построения и применения, основанную на системном подходе.

Системное мышление (далее – СМ), на котором основан системный подход, включает в себя две концепции: системный анализ (далее – СА), системную динамику (далее – СД) (рис. 1). СМ позволяет проникать за пределы того, что поначалу может быть интерпретировано наблюдателем как независимые друг от друга события, определить, что они не являются изолированными, и увидеть лежащие в их основе паттерны поведения целостной системы. Дальнейшее практическое применение полученного знания лежит в области СА и СД. СА использует полученную на его основе концептуальную модель для того, чтобы выявить конкретные причинно-следственные связи, обнаружить и раскрыть их структурное устройство анализируемой системы, а также идентифицировать эффекты, возникающие в результате работы потоков и накопителей, действующих в системах. СД использует выводы, полученные в процессе СА, для моделирования систем причинно-следственных связей и применения полученных моделей с целью прогнозирования будущего поведения систем.



Составлено автором по материалам исследования

Рис. 1. Системное мышление, системный анализ и системная динамика

Так, например, в работе Дж. Форрестера [2] при помощи системно-динамического моделирования (далее – СДМ) создаётся системно-динамическая модель фирмы, в которой учитываются различные функциональные отрасли управления, а деятельность фирмы на основе представленной модели в дальнейшем изучается как функционирование информационной системы с обратной связью.

Все имитационные модели, неважно, построены они в виде текстового описания или на компьютере с использованием Excel, математических уравнений, линейного программирования и вычислительных алгоритмов, по своей структуре опираются на СМ, поскольку они построены в соответствии с определенным мышлением и логикой. Модель успешна, когда мышление, лежащее в её основе, успешно передается от создателя модели наблюдателю. Модель, которая неадекватно объясняет свои принципы, всущности, неэффективна. Следовательно, разработчик модели и пользователь модели должны полагаться на общий инструментарий для облегчения понимания. Именно такой инструментарий предоставляют СМ и СА.

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

История развития теории систем началась в конце 1940-х гг., когда биологом Л. Берталанфи была выдвинута развёрнутая программа построения общей теории систем. «Это произошло в период бурного развития кибернетики, возникновения теории информации, теории игр и принятия решений, теории управления и организации, революционного воздействия на многие стороны жизни общества электронной вычислительной техники» [3, с. 6]. Начало официальной истории кибернетики положил Норберт Винер. Тогда же в Союзе Советских Социалистических Республик началась деятельность С.П. Никанорова в области проектирования систем организационного управления. С.П. Никанорова можно назвать одним из ведущих отечественных исследователей, взявших на вооружение и глубоко переосмысливших наиболее актуальные зарубежные разработки в области СА и СМ. Он перевёл на русский язык несколько фундаментальных западных работ в этой области, включая труды С.Л. Оптнера и С. Янга, и, составив заключение по предложенной методологии, дал высокую оценку СА как инструменту управления. Системный анализ по С.П. Никанорову «вполне может рассматриваться как методология построения организаций» [4, с. 4]. Во всех подобных разработках как западных, так и отечественных, а также связанных с ними исследованиях «речь фактически шла об исследовании особых классов систем, поэтому задача обобщённого описания специфики системных методов исследования воспринималась как органический продукт современного научного развития» [5, с. 6]. Развивая это направление, исследователи продолжали изучение концепций обратной связи, развивающихся и саморегулирующихся систем, что в конечном итоге привело их к теориям самоорганизации [6]. В 1960-е гг. в Массачусетском Технологическом Институте (МТИ) была создана методология междисциплинарных исследований сложных динамических систем, получившая название «Системная динамика». Дж. Форрестер был пионером в своих работах по кибернетике предприятий, в которых он смог объединить усилия из технических и социогумантиарных дисциплин, разработать многие основные концепции, используемые в СД [2].

СД, предназначенная первоначально по замыслу автора для решения проблем управления фирмой, была в дальнейшем применена для построения самых разнообразных СДМ как теоретических, так и компьютерных имитационных – как в области экономики, так и в других социогумантиарных науках. Модели, разработанные самим Дж. Форрестером, в основном фокусировались на росте и упадке городских систем, а также функционировании таких экономических механизмов, как промышленность, занятость и жилищное строительство. За трудами Дж. Форрестера последовали другие исследования, проведённые по аналогичным принципам, в которых городские системы описывались как динамическое взаимодействие между социально-экономическими факторами и принципами использования природных ресурсов [7]. СД в её современном виде включает детально проработанные методологические рекомендации по анализу исследуемой проблемы, её описанию в виде диаграмм причинно-следственных связей, а в дальнейшем – в виде диаграмм уровней и потоков, которые, в свою очередь, могут быть представлены в виде компьютерной динамической имитационной модели.

В процессе развития СД был отмечен тот факт, что системы в сущности иерархичны, и их анализ требует понимания того, как создаются и поддерживаются границы между различными уровнями. Кроме того, важными для понимания метасистемных структур как части сложных структур обратной связи и иерархий стали так называемые «большие сети» [8]. В то же время проведённый автором анализ показывает, что в дальнейшем методология СД развивалась не так активно. Можно сказать, что большая часть

зарубежных и отечественных работ в этой области сосредоточилась вокруг описания различных контуров обратной связи и их поведения, анализа и практического применения в соответствии с классическим методом построения СДМ [9–11]. Важной вехой на этом направлении стала работа последователя идей Дж. Форрестера – Дж. Стермана [12]. Некоторыми исследователями было отмечено, что многие типовые контуры и петли обратной связи настолько распространены, что обладают архетипическими поведенческими свойствами. В своей работе П. Сенге выделяет 10 архетипических моделей поведения для определенных типов ситуаций в различных системах [9]. Они полезны при анализе сложных системных структур, поскольку любой возникающий паттерн в системе можно сравнить с её архетипом. Это сравнение позволяет четко структурировать и упорядочить системные переменные.

Ранние исследования СД показали, что передача результатов построения модели и её анализа так же важна, как и их генерация. Хотя в рамках СД была создана система для схематического визуального представления дифференциальных уравнений в виде уровней и потоков, это оказалось недостаточным для отображения сложных структур модели. Дж. Форрестер разработал концепцию диаграммы причинно-следственных связей как часть преобразования сложной системы уровней и потоков в более упрощенную структуру контуров обратной связи [2]. Такая концепция активно развивалась в период до 2010 г. [12; 13]. Диаграммы причинно-следственных связей отображают структуру и циклы обратной связи системы, чтобы развить понимание того, как работают циклы. Они применяются для осознания того, как при управленческом воздействии в системах проявляется сопротивление внешнему влиянию, и как эти циклы могут быть использованы для разработки стратегий работы с таким сопротивлением и противодействием ему [12].

В настоящее время сформировалось несколько классических подходов к тому, как методически должно осуществляться построение СДМ. Дж. Форрестер, предоставляя руководство по построению СДМ, предлагает разработчикам начать с определения ключевого вопроса и масштаба решаемой проблемы, сформулировать гипотезу перед любым анализом [2]. Исследователи продумали дальнейшие шаги для процедуры ментального моделирования, которая обобщена в работе иностранных ученых [14] (табл. 1). Наиболее современным можно назвать алгоритм, предложенный Дж. Стерманом [12]. Обратимся к табл. 1.

Таблица 1

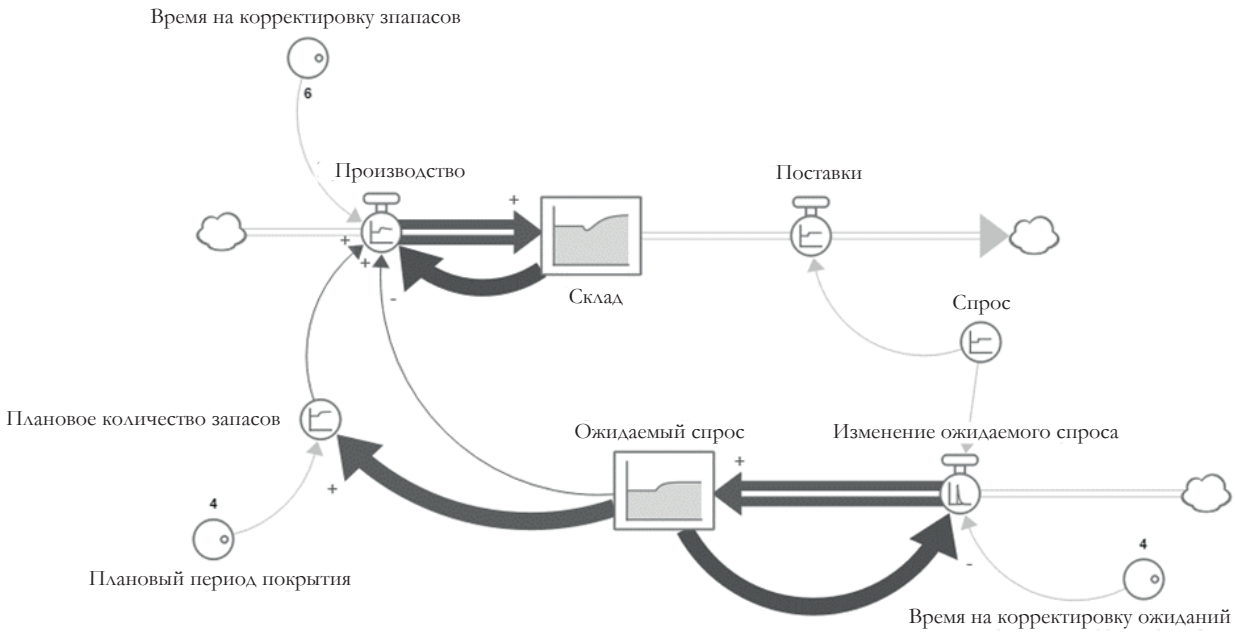
Описания процесса системно-динамического моделирования в классической литературе

<table>
<tr><th colspan="5">Авторы-классики системно-динамического подхода</th></tr>
<tr><th>Дж. Рандерс (1980 г.)</th><th>Дж. П. Ричардсон (1981 г.)</th><th>Н. Робертс (1983 г.)</th><th>Э.Ф. Уолстенхолм (1990 г.)</th><th>Дж. Стерман (2000 г.)</th></tr>
<tr><td rowspan="2">Концептуализация</td><td>Определение проблемы</td><td>Определение проблемы</td><td rowspan="2">Построение и анализ диаграмм</td><td>Озвучивание проблемы</td></tr>
<tr><td>Концептуализация системы</td><td>Концептуализация системы</td><td>Выдвижение динамической гипотезы</td></tr>
<tr><td>Формализация</td><td>Формализация модели</td><td>Представление модели</td><td rowspan="3">Постановка экспериментов (1 этап)</td><td>Формализация</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Тестирование</td><td>Анализ поведения модели</td><td>Анализ поведения модели</td><td rowspan="2">Тестирование</td></tr>
<tr><td>Оценка модели</td><td>Оценка модели</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Внедрение</td><td>Анализ политики</td><td rowspan="2">Анализ политики и практическое применение</td><td rowspan="2">Постановка экспериментов (2 этап)</td><td rowspan="2">Формализация и оценка политики</td></tr>
<tr><td>Практическое применение</td></tr>
</table>

Составлено автором по материалам источника [14, с. 275]

Также нужно отметить, что в рассматриваемый период постоянно совершенствуется и расширяется технический инструментарий СД. Первоначально системно-динамическое имитационное моделирование проводилось с использованием дифференциальных уравнений. Сегодня существует целый ряд программных пакетов имитационного моделирования, которые используют графический интерфейс в виде диаграмм и палитры системных динамических инструментов для разработки сложных моделей. Их функционал регулярно расширяется, например, авторами программного пакета AnyLogic в 2009 г.

была аргументирована необходимость комбинированного подхода, а группа разработчиков Stella Architect представила в 2020 г. программно-методический модуль, позволяющий анализировать поведение построенной модели путем автоматического выделения значимых контуров обратной связи и определения их полярности [15; 16] (рис. 2).



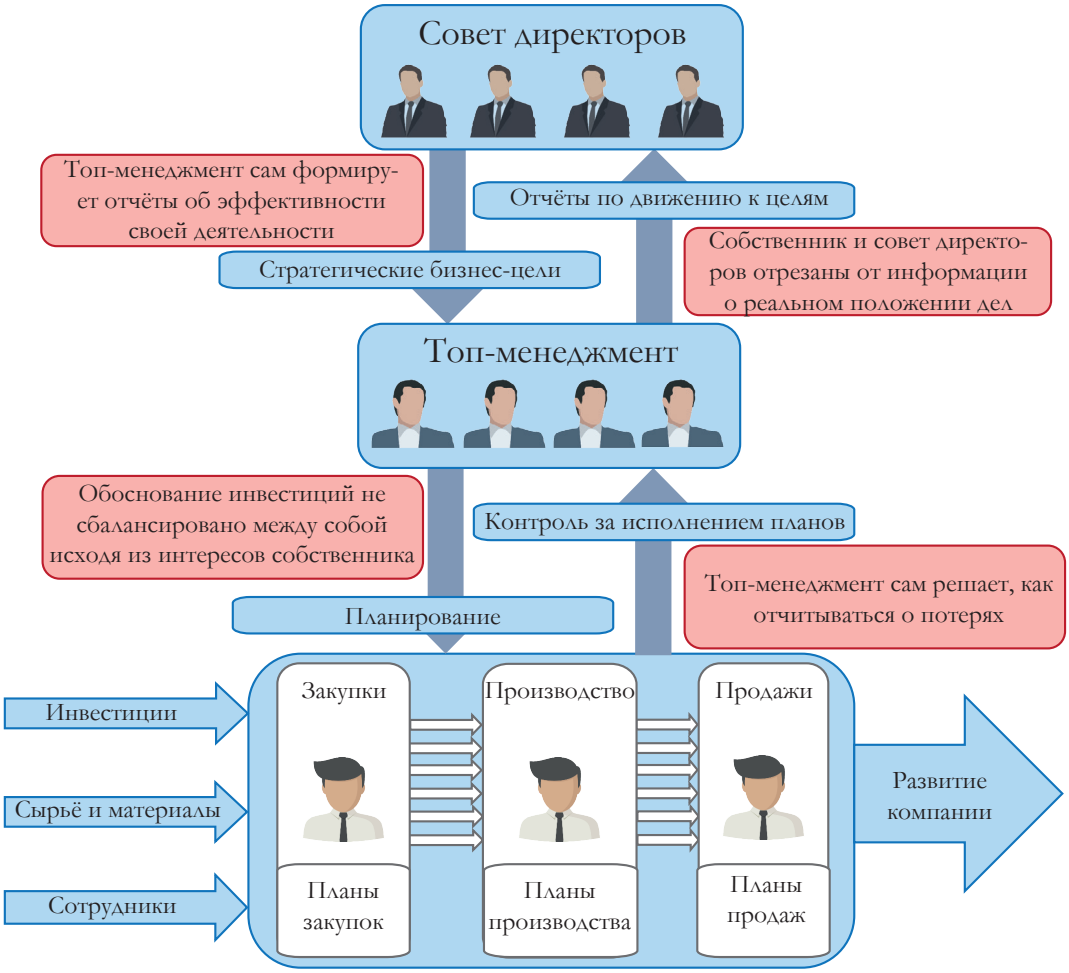
Составлено автором по материалам исследования

Рис. 2. Автоматическое выделение значимых контуров обратной связи и определение их полярности

Необходимо обратить особое внимание на попытки синтеза методов СДМ с другими подходами в области повышения эффективности управления организациями. Успешным примером такого синтеза является интеграция подхода Дж. Форрестера с «теорией стейкхолдеров» (далее – ТС) Э. Фримена, предложенной А. Элиасом [17]. Особое внимание к участию заинтересованных сторон можно рассматривать как важный этап при разработке концептуальных моделей для процесса моделирования и проведения последующего сценарного планирования. Начиная с 2006 г. опубликовано более 10 результатов исследований в направлении объединения СМ и моделирования с ТС. А. Элиас интегрирует анализ заинтересованных сторон путем включения его в основные этапы процесса моделирования СД, предложенного в 2000 г. в работе Дж. Стермана [12]. Этот процесс выявления заинтересованных сторон, их интересов, их динамического поведения с течением времени и привлечения системного подхода к процессу был успешно реализован в нескольких тематических исследованиях [18].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящее время одной из передовых практик крупнейших мировых корпораций по повышению доходности инвестиций является цифровизация корпоративного управления изменениями и совершенствования организаций. Рассмотрим компанию, в которой между владельцами и советом директоров, и её непосредственной деятельностью находится промежуточное управленческое звено – топ-менеджмент. Основной риск такой системы – потеря управляемости и контролируемости компании по причине того, что в описанной схеме совет директоров (или собственник) отрезан от непосредственной деятельности топ-менеджмента. Последний фактически блокирует доступ к реальному положению дел и становится информационным буфером, который агрегирует и предоставляет информацию «наверх» так, как ему выгодно. Далее топ-менеджмент сам формирует отчёты об эффективности своей деятельности и о достижении тех стратегических бизнес-целей, которые он получает, сам рассчитывает, насколько текущие планы сбалансированы и каковы потери от неэффективности использования ресурсов, узких мест и избытков, если они есть. В такой системе обоснование инвестиций тоже происходит через призму интересов каждого конкретного подразделения, а не от сквозных целей всей фирмы в совокупности (рис. 3).



Составлено автором по материалам исследования

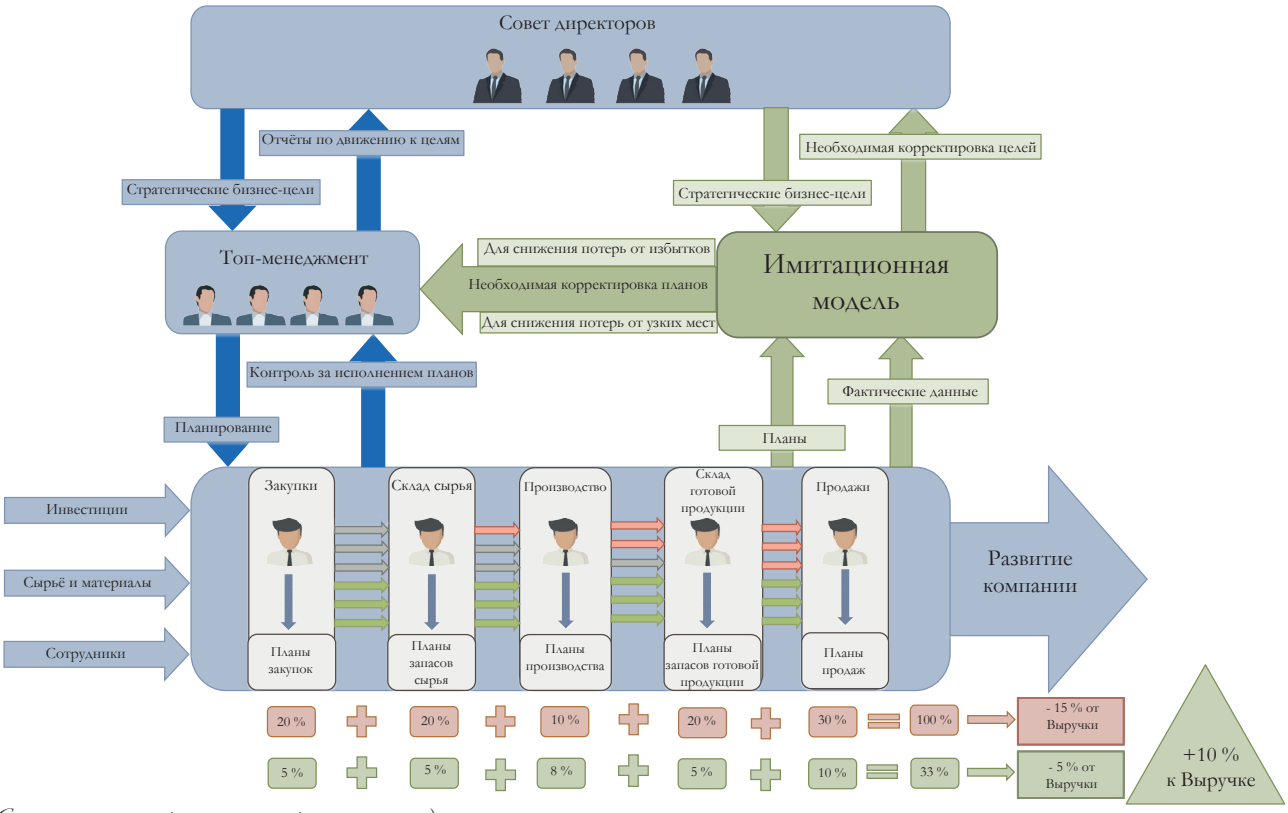
Рис. 3 Проблемы классической схемы управления компанией

Именно этим прежде всего объясняются острая актуальность, рыночная целесообразность экономического моделирования и использования компьютерной модели как ядра системы управления, в котором связываются между собой воедино в систему связанных интерфейсов сотрудники компании и, соответственно, информационные потоки, которые может отслеживать совет директоров, принимая решения и контролируя работу топ-менеджмента. Предлагаемая автором имитационная модель агрегирует информацию о статистических данных от структурных подразделений организации с одной стороны, а от совета директоров получает стратегические цели. Дальше в процессе постановки экспериментов и анализа выходных данных модели становится возможным диагностировать, насколько сбалансирован план, в какой части есть потери от избытков и утраты от узких мест. Получив результирующий отчёт, собственник компании может на своём уровне сделать необходимую корректировку планов и передать топ-менеджменту. Таким образом формируется одно их ключевых явлений, которое рассматривает СД – петля обратной связи.

Далее если необходимой корректировки недостаточно, чтобы стратегические цели были исполнены, происходит корректировка самой цели. Формируется кибернетическая модель с двумя петлями – одна находится на исполнительском уровне, другая передает информацию на уровень долгосрочного планирования. Экономическое моделирование связывает воедино все потоки: денежные, материальные и информационные. Постоянная оценка сбалансированности планов и потерь, а также сквозной просчёт обоснования инвестиций исходя из интересов всей фирмы целиком выступают как индикаторы контроля системы сдержек и противовесов относительно корпоративной бюрократии.

Учитывая наличие в авторской модели петли обратной связи, метод СДМ экономических систем и его применение для усовершенствования организационных форм и повышения эффективности управления организациями, предложенный Дж. Форрестером, были взяты автором настоящей статьи за основу построения модели. Как показано выше, СДМ по-прежнему остается объектом активного интереса

как отечественных, так и зарубежных исследователей. В то же время, по мнению автора, ключ к развитию и к наиболее эффективному применению СДМ лежит в области синтеза с другими методами повышения эффективности управления организациями. Так, управление потоками и разбитие на процессы, в которых определённые ценности потребляются и передаются следующему узлу, объединяют СДМ с горизонтальной моделью Э. Голдратта и процессным подходом А.В. Шеера [19; 20]. Процесс функционирования организации описывается как входная ценность, с одной стороны, и выходная – с другой. Далее указанный процесс объединяется с инфраструктурой для его реализации в нижнем уровне точками контроля, которые обеспечивают управляемость, и замыкается в единый контур обратной связи. Таким образом, с помощью модели можно выявить на верхнем уровне, где есть рассинхронизация между отделами (например, закупки продолжают наращиваться, когда у отдела продаж нет динамики и т.п.). Технологически модель может быть сконвертирована в облачный сервис, который агрегирует поступающие из различных учётных информационных систем данные, и на выходе наглядно демонстрирует, как текущая стратегия влияет на операционную работу и прогноз прибыли. Например, потеря на узлах может составлять 15 % выручки за счёт сбалансированности планов. Использование имитационной модели, которая выдаст соответствующие корректировки, может снизить эти потери на 10 % (рис. 4).



Составлено автором по материалам исследования

Рис. 4. Применение имитационной модели в целях цифровизации корпоративного управления

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выработка универсальной методологии, позволяющей разрабатывать компьютерные модели, эффективно решает обозначенную задачу и в последние годы приобрела особую актуальность. Это можно связать с несколькими факторами. Со всей очевидностью можно наблюдать рост сложности и масштаба исследуемых организаций. Постоянно и стремительно совершенствуются технические средства, ускоряются темпы цифровизации. СДМ успешно используется в процедурах и системах поддержки принятия решений на предприятиях, и, по мнению автора, СДМ может быть успешно применено в этой области. Но проблема построения цифровых двойников требует дальнейшего синтеза в соответствии с изложенными выше принципами СМ и СД, а также с лучшими мировыми теориями управления [21; 22]. Проведя анализ мировых теорий управления, выделены представляющие, по мнению автора, наибольший интерес в управленческом аспекте: упомянутая выше теория ограничений Э. Голдратта, корпоративные

стратегии и бизнес-моделирование А. Остервальдера, а также сбалансированная система показателей Р.С. Каплана и Д.П. Нортона [19; 23; 24]. В то же время при применении метода СДМ как прикладного инструмента, позволяющего успешно осуществлять цифровизацию корпоративного управления изменениями, следует учитывать лучшие разработки советской и российской науки.

В результате проведенного исследования наиболее примечательными для решения обозначенной задачи автору представляются автоматизация систем управления С.П. Никонорова и экономическое моделирование О.В. Григорьева. Разработки С.П. Никаноровa в области концептуализации предметных областей и системного подхода, до настоящего момента практически не востребованные и по понятным причинам неизвестные западным исследователям, в сочетании с моделью фирмы, предложенной О.В. Григорьевым, описывающей роль транзакционных издержек, которые связаны с управлением и предметом управления фирмой как явлением, позволят формализовать модель управления фирмой и кооперации фирм [21; 25]. Модели фирмы, построенные на основе синтеза методологий, будет способствовать наиболее эффективному освоению области роста организации и проведению экономически обоснованных преобразований, реализуемых в том числе через стратегию управления инвестициями. В перспективе этот подход может быть масштабирован до моделей городов и суверенной экономики по аналогии с работами Дж. Форрестера [2; 7].

Библиографический список

1. Лопатников Л.И. *Популярный экономико-математический словарь*. М.: Знание; 1990. 254 с.
2. Форрестер Дж. *Основы кибернетики предприятия*. Пер. с англ. Гвишиани Д.М. М.: Прогресс; 1971. 325 с.
3. Берталанфи Л. Общая теория систем. Обзор проблем и результатов. В кн.: *Системные исследования*. М.: Наука; 1969. С. 30–54.
4. Никаноров С.П. Системный анализ: этап развития методологии решения проблем в США. В кн.: *Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем*. Пер. с англ. Никаноров С.П. М.: Советское радио; 1969. С. 3–14.
5. Садовский В.Н. *Основания общей теории систем*. М.: Наука; 1974. 251 с.
6. Fritjof C., Luisi P.L. *The Systems View of Life: A Unifying Vision*. Cambridge: Cambridge University Press; 2016. 510 p.
7. Форрестер Дж. *Динамика развития города*. Пер. с англ. Орлова М.Г. М.: Прогресс; 1974. 282 с.
8. Barabasi A.-L., Frangos J. *Linked: The New Science of Networks*. New York: Perseus Books Group; 2002. 288 p.
9. Сенге П.М. *Пятая дисциплина. Искусство и практика самообучающейся организации*. Пер. с англ. Пинскер Б.С. М.: Олимп-Бизнес; 2003. 408 с.
10. О'Коннор Дж., Макдермотт И. *Искусство системного мышления*. Пер. с англ. Пинскер Б.С. М: Альпина Паблишер; 2014. 281 с.
11. Медоуз Д. *Азбука системного мышления*. Пер. с англ. Романовского Д. М.: МИФ; 2018. 280 с.
12. Sterman J. *Business Dynamics*. New York: McGraw-Hill; 2000. 1008 p.
13. Cavana R.Y., Mares E.D. Integrating Critical Thinking and Systems Thinking: From Premises to Causal Loops. *System Dynamics Review*. 2004; 20(3): 223–235.
14. Luna-Reyes L.F., Andersen D.L. Collecting and Analyzing Qualitative Data for System Dynamics: Methods and Models. *System Dynamics Review*. 2003; 19(4): 271–296.
15. Каталевский Д.Ю. *Основы имитационного моделирования и системного анализа в управлении*. М: «Дело», РАНХиГС; 2015. 314 с.
16. Schoenberg W., Davidsen P., Eberlein R. Understanding model behavior using loops that matter. *System Dynamics Review*. 2020; 36:158–190.
17. Elias A.A. Environmental Conflicts, Stakeholders and a Shared Mental Model. *ResearchGate*. 2023. 15 p.
18. Elias A.A., Cavana R.Y. Stakeholder Analysis for Systems Thinking and Modelling. *ResearchGate*. 2011.
19. Голдратт Э., Кокс Д. *Цель: процесс непрерывного улучшения*. Пер. с англ. Федурко Е. Минск: Попурри; 2012. 512 с.
20. Шеер А.-В. *Индустрия 4.0. От прорывной бизнес-модели к автоматизации бизнес-процессов*. Пер. с англ. Виниченко О.А. и Стефановского Д.В. М.: «Дело», РАНХиГС; 2020. 272 с.
21. Борщев А. Имитационное моделирование: состояние области на 2015 год, тенденции и прогноз. *AnyLogic*. https://www.anylogic.ru/upload/pdf/immod15_borshchev_statia.pdf (дата обращения: 04.04.2023).
22. Никаноров С.П. *Концептуализация предметных областей*. М.: Концепт; 2009. 268 с.
23. Остервальдер А., Пинье Ив. *Построение бизнес-моделей*. Пер. с англ. Кульнев М. М.: Альпина Паблишер; 2012. 288 с.
24. Нортон Д.П., Каплан Р.С. *Сбалансированная система показателей: от стратегии к действию*. Пер. с англ. Павлов М. М.: Олимп-Бизнес; 2017. 320 с.
25. Григорьев О.В. *Эпоха роста: Лекции по неоэкономике*. М.: Карьера Пресс; 2014. 448 с.

References

1. Lopatnikov L.I. *Popular Economic and Mathematical Dictionary*. Moscow: Znanie; 1990 (In Russian).
2. Forrester Jay W. *Industrial Dynamics*. Trans. from Eng. Gvishiani D.M. Moscow: Progress; 1971 (In Russian).
3. Bertalanffy L. General System Theory. Review of Problems and Results. In: *Systems research*. Moscow: Nauka; 1969; 30–45 pp. (In Russian).
4. Nikanorov S.P. System Analysis: A Stage in the Development of Problem-solving Methodology in the USA. In: *Systems Analysis for Business Management*. Moscow: Sovetskoye radio; 1969;3–14 pp. (In Russian).
5. Sadovsky V.N. *Foundations of the General Systems Theory*. Moscow: Nauka; 1974 (In Russian).
6. Fritjof C., Luisi P.L. *The Systems View of Life: A Unifying Vision*. Cambridge: Cambridge University Press; 2016. 510 p.
7. Forrester Jay W. *Urban Dynamics*. Trans. from Eng. Orlova M.G. Moscow: Progress; 1974 (In Russian).
8. Barabasi A.-L., Frangos J. *Linked: The New Science of Networks*. New York: Perseus Books Group; 2002. 288 p.
9. Senge P.M. *The Fifth Discipline: The Art & Practice of The Learning Organization*. Trans. from Eng. Pinsker B.S. Moscow: Olimp-Business; 2003 (In Russian).
10. O'Connor J., McDermott I., *The Art of Systems Thinking*. Trans. from Eng. Pinsker B.S. Moscow: Alpina Publisher; 2014. (In Russian).
11. Meadows D. *Thinking in Systems*. Trans. from Eng. Romanovsky D. Moscow: MIF; 2018 (In Russian).
12. Sterman J. *Business Dynamics*. New York: McGraw-Hill; 2000. 1008 p.
13. Cavana R.Y., Mares E.D. Integrating Critical Thinking and Systems Thinking: From Premises to Causal Loops. *System Dynamics Review*. 2004; 20(3): 223–235.
14. Luna-Reyes, L.F., Andersen, D.L. Collecting and Analyzing Qualitative Data for System Dynamics: Methods and Models. *System Dynamics Review*. 2003; 19(4): 271–296.
15. Katalevsky D.Y. *Fundamentals of Simulation Modeling and System Analysis in Management*. Moscow: "Delo", RANEPA; 2015 (In Russian).
16. Schoenberg W., Davidsen P., Eberlein R. Understanding model behavior using loops that matter. *System Dynamics Review*. 2020; 36:158–190.
17. Elias A.A. Environmental Conflicts, Stakeholders and a Shared Mental Model. *ResearchGate*. 2023. 15 p.
18. Elias A.A., Cavana R.Y. Stakeholder Analysis for Systems Thinking and Modelling. *ResearchGate*. 2011.
19. Goldratt E. *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*. Trans. from Eng. Fedurko E. Minsk: Popurry; 2012 (In Russian).
20. Scheer A.-W. *From Disruptive Business Model to Automation of Business Processes*. Trans. from Eng. Vinichenko O.A., Stefanovskij D.V. Moscow: "Delo" RANEPA; 2020 (In Russian).
21. Borschev A. Simulation Modeling: The State of the Field for 2015, Trends and Forecast. *AnyLogic*. https://www.anylogic.ru/upload/pdf/immod15_borshchev_statia.pdf (accessed 04.04.2023) (In Russian).
22. Nikanorov S.P. *Conceptualization of Subject Areas*. Moscow: Concept; 2009 (In Russian).
23. Osterwalder A., Pigneur Y. *Business Model Generation*. Trans. from Eng. Kulnev M. Moscow: Alpina Publisher; 2012 (In Russian).
24. Norton D.P., Kaplan R.S. *The Balanced Scorecard: Translating Strategy into Action*. Trans. from Eng. Pavlov M. Moscow: Olimp-Business; 2017 (In Russian).
25. Grigoriev O.V. *The Age of Growth: Lectures on Neoeconomics*. Moscow: Career Press; 2014 (In Russian).