

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ОТНОШЕНИЙ

© 2020 Магомадов Эмин Мухадинович

кандидат экономических наук, доцент кафедры учета, анализа и аудита в цифровой экономике
Чеченский государственный университет, Россия, Грозный
E-mail: chgu@yandex.ru

© 2020 Муртазалиева Амина Хамзатовна

3 курс Института экономики и финансов
Чеченский государственный университет, Россия, Грозный

В статье рассмотрены экономико-математические модели динамики экономического развития предприятий, находящихся в условиях цифровой трансформации, представляющей собой процесс интеграции цифровых технологий во все аспекты деятельности предприятия и вносящей коренные изменения в технологии, операции и способы создания новой продукции.

Ключевые слова: смарт-предприятия, цифровые технологии, макроэкономическая производственная функция, цифровая трансформация.

Целью данной статьи является изучение мирового опыта в экономико-математическом моделировании в смарт-предприятиях в условиях цифровой трансформации экономических отношений.

В 2011 году на Ганноверской выставке-ярмарке группой германских исследователей, бизнесменов и общественных деятелей, входящих в научно-исследовательский альянс по разработке стратегических принципов высокотехнологичного производства, был предложен термин «Промышленность 4.0» и ее принципы. Это событие ознаменовало осмысление и начало перехода к новой индустриальной революции, основанной на повсеместном применении «умных» технологий, способных полностью исключить человека из процесса принятия рутинных решений в сфере производства. Распространение информационных технологий, тотальная автоматизация самых разнообразных процессов, открытие принципиально новых материалов и безотходных способов их использования, успехи в создании кибер-физических систем, обладающих искусственным интеллектом — все это стало предпосылками для осознания новых, революционных возможностей в организации промышленного производства. Переход к новой смарт-системе производства и мероприятия по трансформации производственных отношений должны тщательно обосновываться, а наиболее эффективным инструментом описания

проектируемых систем и процессов является инструментарий экономико-математического моделирования, позволяющий проводить эксперименты с проектируемой системой, изучать ее свойства, оценивать эффективность, предвосхищать возникновение проблем и ошибок без риска понести колоссальные потери, неизбежные в случае проведения экспериментов с реальной системой. Аппарат экономико-математического моделирования в настоящее время достаточно хорошо разработан для описания любых, даже самых сложных процессов и систем, однако, новизна решаемых задач при создании смарт-предприятий не позволяет сделать однозначный выбор в пользу применения каких-то определенных инструментов, в связи с чем целесообразно изучение зарубежного опыта применения этих методов при создании смарт-предприятий, поскольку у развитых стран в данном вопросе уже есть определенные эмпирические знания. Поэтому целью данной статьи является изучение мирового опыта в использовании экономико-математических моделей на предприятиях в условиях цифровой трансформации экономических отношений.

Одним из важных направлений формирования цифровой экономики является организация процессов цифровизации производственных предприятий. Эти процессы сопровождаются широким внедрением таких новых технологий, как обработка и аналитика больших данных,

машинное обучение, искусственный интеллект, роботизация, дополненная реальность, промышленный интернет вещей (IoT), 3D-печать, облачные вычисления и т.д. Широкое развитие и диффузия цифровизации стали возможными за счет снижения стоимости технологий, увеличения вычислительных мощностей и скорости передачи данных. Цифровая трансформация предприятия опирается на операционную цифровизацию, представляющую собой внедрение цифровых инструментов для повышения эффективности предприятия. Внедрение цифровых инструментов в операционную деятельность позволяет предприятиям удаленно управлять физическими элементами оборудования предприятия и его производством в целом. Набор эффективных экономико-математических методов моделирования представляет для «умного предприятия» инструментарий, позволяющий увеличивать выпуск готовой продукции, снижать издержки, сокращать расход материалов, повышать доступность оборудования. Как отмечается в исследовании исполнительного комитета СНГ по состоянию, проблемам и перспективам развития информационного общества, необходимо разрабатывать новые методы, позволяющие правильно понять и исследовать открывающуюся перед ним новую высокодинамичную информационную картину мира. Методы экономико-математического моделирования, позволяющие получить объективные и непредвзятые количественные обоснования, должны занять среди этих методов важную нишу. Исходя из приведенного анализа актуальных направлений исследования становления смарт-промышленности можно выделить следующие перспективные направления экономико-математического моделирования смарт-предприятий:

1. В первую очередь интерес вызывает эволюция макроэкономической производственной функции в связи с переходом к неоиндустриальной смарт-экономике. Использование методов экономико-математического моделирования дает возможность теоретически обосновать качественные изменения этой функции в связи с появлением новых технологических комбинаций классических факторов производства, и возможным появлением нового фактора производства в виде информатизации или искусственного интеллекта.

Можно предложить несколько спецификаций производственной функции предприятий с

учетом действия этого нового фактора (обозначим его I):

- мультипликативная функция (аналог Кобба-Дугласа):

$$y = a_0 K^{a_1} L^{a_2} I^{a_3}$$

где факторы производства представлены в натуральном измерении;

- аддитивно-мультипликативная функция:

$$y = a_1 K + a_2 L + a_3 I + a_4 KL + a_5 KI + a_6 LI$$

где факторы производства представлены в стандартизированном виде.

Второй вариант может оказаться более информативным для статических моделей, поскольку способен отразить различные мультипликативные эффекты, получаемые от разных сочетаний факторов. Если же рассматривать развитие производственной функции в динамике, то информативнее может оказаться первый вариант, так как есть основания полагать, что параметр a_3 описывается некой S-образной кривой, зависящей от времени, например кривой Гомперца или логистической кривой:

$$a_3 = \frac{1}{1 + be^{a_1}}$$

Выбор S-образной кривой обусловлен лавинообразным характером процессов информатизации, и, возможно, развития искусственного интеллекта, когда природы зависят от достигнутого уровня, и сначала идут с ускорением развития, а затем по мере насыщения — с замедлением.

2. Всевозможные вариации модели Леонтьева «Затраты-Выпуск» и межотраслевого баланса, с помощью которых можно решать минимум три задачи:

- сквозного планирования и управления промышленностью на основе единого цифрового пространства промышленности;
- обоснования предприятий, требующих первоочередной цифровой интеграции, оценки потерь от сохранения «несмартизированных» участников создания цепочек стоимости и т.п.;
- повышения спроса в условиях внедрения цифровых бизнес-моделей и расширения цифрового взаимодействия с клиентами за счет снижения транзакционных издержек.

В качестве коэффициентов технологической матрицы модели «Затраты — Выпуск» можно использовать не только натуральное выраже-

ние затрат, но денежное. При этом, в денежном выражении коэффициента затрат можно выделить определенные стоимостные компоненты, например, затраты труда (l_{ij}), затраты на транспортировку (tr_{ij}), транзакционные издержки, связанные с промежуточным и конечным потреблением продукции (z_{ij}). Таким же образом можно рассматривать фактор времени (t_{ij}), как элемент затрат, связанный с организацией цепочки создания стоимости. Это открывает целый пласт уже оптимизационных задач, позволяющих определить взаимосвязанные отрасли и потребителей, в наибольшей степени нуждающихся в интеграции на основании единого цифрового пространства промышленности. Рассмотрим один из вариантов общей математической постановки таких задач. Предположим, что затраты z_{ij} матрицы затрат межотраслевого баланса можно снизить за счет смартизации производств в отраслях i и j :

$$Z'_{ij} = Z_{ij}(1 - S_i S_j),$$

где $S_i S_j$ — некий уровень смартизации предприятий, измеряемый величиной в диапазоне (0; 1). (Причем, заметим, если одна из взаимодействующих сторон не является смарт-предприятием, эффекта снижения затрат наблюдаться не будет). Сам же уровень смартизации предприятий является некоторой S -образной функцией от инвестиционных затрат K , связанных с преобразованием традиционного предприятия в смарт-предприятие:

$$S_i = \frac{1}{1 + b_i e^{-m_i K_i}}, \quad S_j = \frac{1}{1 + b_j e^{-m_j K_j}}.$$

Есть основания предполагать, что в рамках одной отрасли связь инвестиционных затрат с уровнем смартизации описывается одной и той же функцией (параметр b одинаков), и отличается лишь параметром масштаба производства ($m_i m_j$), так как очевидно, чем крупнее предприятие, тем больше «умного» оборудования необходимо внедрить, чтобы достичь того же уровня смартизации производства. Тогда задачу по снижению издержек производства за счет внедрения смарт-индустриализации в рамках ограниченных инвестиционных ресурсов можно представить в виде:

$$\sum_i x_i \sum_j Z'_{ij} \Rightarrow \min$$

$$X = (E - A)^{-1} Y,$$

$$Z'_{ij} = Z_{ij} \left(1 - \frac{1}{1 + b_i e^{-m_i K_i}} \cdot \frac{1}{1 + b_j e^{-m_j K_j}} \right),$$

$$\sum_{A_i} K_i \leq K_{lim}.$$

где $A = (a_{ij}) n \times n$ — технологическая матрица, элементы которой $a_{ij} = x_{ij} / X_j$ показывают, сколько продукции отрасли i необходимо затратить для производства одной единицы продукции отрасли j , $Y_{n \times 1}$ — вектор-столбец конечной продукции.

3. Третьим направлением экономико-математического моделирования смарт-предприятий можно назвать вариации сетевых моделей, транспортной задачи, задачи о назначениях и т.п. Построение сетевого графа взаимодействий потребителей, производителей и других контрагентов, например, в какой-то конкретной отрасли позволит найти решение следующих проблем:

- обоснования сетевых эффектов при создании смарт-предприятий в данной отрасли и оценить тот, минимально необходимый уровень цифровизации сети, при котором затраты от дальнейшего внедрения «умных» технологий будут компенсироваться ростом эффективности сети в целом;
- в рамках ограничений на объем доступных инвестиционных ресурсов определение предприятий, нуждающихся в первоочередной цифровизации своих производств так, чтобы путь прохождения заказа от заявки до его получения оказался с минимальными издержками;
- оптимизации движения товаров (от их проектирования до потребления конечными клиентами) в условиях интернета вещей и «умной» инфраструктуры.

Стандартная целевая функция в таких задачах состоит в минимизации издержек при движении из начальной в конечную вершину.

$$Z = \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min,$$

где x_{ij} — искомый объем груза, перемещаемый из i -й вершины в j -ю; затраты c_{ij} на это перемещение (для различных дуг могут быть как постоянными, так и зависеть от объема перемещаемого груза).

Стандартные ограничения: все потребители должны быть удовлетворены, суммарное производство равно суммарному потреблению:

$$\sum_i x_{ij} = a_i,$$

$$\sum_j x_{ij} = b_j,$$

$$\sum_i a_i = \sum_j b_j.$$

Очевидным расширением этой задачи является определение эффективного пути в условиях возможности смартизации отдельных предприятий, входящих в данную сеть.

Новая промышленная революция основывается на достижениях шестого технологического уклада, который характеризуется массовым внедрением технологий аддитивного производства, нанотехнологий и биоинженерии, полной цифровизацией производств, эксплуатацией киберфизических систем, обладающих искусственным интеллектом, созданием глобальной информационной сети товаров, транспорта, зданий, производств, способных взаимодействовать друг с другом самостоятельно без вмешательства человека. Страны бывшего СССР, промышленность которых основана на технологиях 3-го и 4-го технологических укладов, сильно отстают в своем развитии от западных стран, и возможности эволюционно догнать их выглядят сомнительно. В то же время создание новых предприятий, эксплуатирующих технологии 6-го уклада, может помочь им занять определенные ниши в мировом цифровом производстве. Наиболее эффективным способом обоснования экономической целесообразности создания смарт-предприятий и преобразования существующих предприятий в смарт-предприятия является использование инструментария экономико-математического

моделирования, позволяющего проводить эксперименты с проектируемой системой, изучать ее свойства, оценивать эффективность, предвосхищать возникновение проблем и ошибок. Среди перспективных направлений экономико-математического моделирования смарт-предприятий в странах с эмерджентной экономикой выделены следующие:

1) использование модификаций производственных функций — для обоснования качественных изменений в факторах производства, появления новых факторов производства, их новых технологических комбинаций;

2) применение модификаций моделей Леонтьева «затраты-выпуск» и оптимизационных моделей — для сквозного планирования и управления промышленностью, обоснования предприятий, требующих первоочередной цифровой интеграции, сокращения транзакционных издержек в условиях внедрения цифровых бизнес-моделей и расширения цифрового взаимодействия с клиентами;

3) использование модификаций сетевых моделей и моделей оптимизации — для оптимизации движения товаров (от их проектирования до потребления конечными клиентами) в условиях интернета вещей и «умной» инфраструктуры, а также для обоснования первоочередных претендентов на цифровизацию в условиях ограничений на объем доступных инвестиционных ресурсов;

4) разработка корреляционно-регрессионных моделей — для оценки экономических стохастических зависимостей, а также имитационных моделей — для оценки последствий тех или иных сценариев проведения смарт-индустриализации для занятости, доходов населения и экономики в целом.

Конкретизация постановки данных моделей и подходов к их реализации требует дополнительного углубленного изучения специфики решаемых задач и формализации отдельных институциональных факторов.

Библиографический список

1. Василенко В. (2013) Технологические уклады в контексте стремления экономических систем к идеальности. Тернополь. Т. 8. № 1. С. 65–72.
2. Воронин А.В. (2013) Моделирование технических систем. Томск: Томский политехнический университет.
3. Глазьев С. (2017) Битва за лидерство в XXI веке. Россия-США-Китай. Семь вариантов обозримого будущего. М.: Книжный мир.

4. Евразийская экономическая комиссия (2017) Анализ мирового опыта развития промышленности и подходов к цифровой трансформации промышленности государств-членов Евразийского Экономического Союза: информационно-аналитический отчет. М.: Евразийская экономическая комиссия.
5. Каплан А.В., Каплан В.Е., Мащенко М.В., Овечкина Е.В. (2007) Решение оптимизационных задач в экономике. М.: Феникс.
6. Куприяновский В.П., Намиот Д.Е., Синягов С.А. (2016) Кибер-физические системы как основа цифровой экономики // InternationalJournalofOpenInformationTechnologies. Vol. 4. № 2. P. 18–25.
7. Куприяновский В.П., Синягов С.А., Намиот Д.Е., Уткин Н.А., Николаев Д.Е., Добрынин А.П. (2017) Трансформация промышленности в цифровой экономике – проектирование и производство // InternationalJournalofOpenInformationTechnologies. Vol. 5. № 1. P. 50–70.
8. Мадых А.А., Охтеня А.А. (2018) Моделирование трансформации влияния производственных факторов на экономику в процессе становления смарт-промышленности. Экономика промышленности. № 4 (84). С. 26–41. doi: <http://doi.org/10.15407/econindustry.2018.04.026>
9. Международный банк реконструкции и развития / Всемирный банк (2016) Доклад о мировом развитии «Цифровые дивиденды». Washington: Международный банк реконструкции и развития / Всемирный банк.
10. Паклин Н.Б., Орешков В.И. (2009) Бизнес-аналитика: от данных к знаниям. СПб.: Питер.
11. Трофимова Е. (2016) Киберуязвимость умных производств // ControlEngineering Россия. № 1 (61). С. 34–36.
12. Atzori L., Lera A., Morabito G. (2010) The internet of things: a survey // Computer Networks. № 54. P. 2787–2805. DOI: 10.1016/j.comnet.2010.05.010.
13. Reimann M., Ruckriegel C. (2017) Road2CPS Priorities and Recommendations for Research and Innovation in Cyber-Physical Systems. Stuttgart: Steinbeis-Editions.
14. Yin S., Kaynak O. (2015) Big Data for Modern Industry: Challenges and Trends //Proceedings of the IEEE. Vol. 103. № 2. P. 143–146.
15. Zaitsev D.A. (2012) Universal Petri Net //Cybernetics and Systems Analysis. Vol. 48. Issue 4.P. 498511.