π-Economy. 2024, Том 17, № 5. С. 9–31.
π-Economy. 2024, Vol. 17, No. 5. Pp. 9–31.

Цифровая трансформация промышленности и Индустрия 5.0

Digital transformation of industry and Industry 5.0

Научная статья
УДК 338.984
DOI: https://doi.org/10.18721/JE.17501

ЦИФРОВИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ МАШИНОСТРОЕНИЯ: РЕЗУЛЬТАТЫ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ

С.Г. Фомин ✉ , **Ж.А. Ермакова**

Институт экономики Уральского отделения Российской академии наук,
г. Екатеринбург, Российская Федерация

✉ semafom@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы цифровизации системы сквозного планирования экономических форм объединений предприятий (холдингов, корпораций, кластеров), когда в одной технической и методической системе планирования должны работать многие предприятия на всех уровнях планирования. Целью настоящего исследования является обоснование цифровизации сквозной системы планирования в машиностроительном холдинге, включающем предприятия единичного и мелкосерийного типа производства. На основе обзора отечественных и зарубежных исследований в области планирования с 1920-х гг. и до наших дней рассмотрены: стадии информатизации процесса планирования – применение машинотехнических средств, компьютеризация, цифровизация; актуальность перехода системы планирования машиностроительного холдинга на стадию цифровизации на основе определенных эффектов; проблемы цифровизации; неизбежность изменений и необходимость придать этим изменениям положительное содержание модернизации. С точки зрения цифровизации выявлены элементы системы планирования и их взаимосвязи – данные, показатель, процесс, компетенция, инструментарий. Для обеспечения создания сквозной системы планирования предложены четыре этапа циклического процесса изменения (модернизации) системы планирования в цифровой среде – измерение (1) и оценка (2) результативности системы планирования, проектирование (3) и реализация (4) модификации системы планирования. Этапы рассматриваются в привязке к предприятию (или предприятиям) холдинга и к элементу системы планирования. Изменение элемента системы планирования в рамках этапа изменения самой системы планирования также рассматривается как циклический процесс, состоящий из четырех этапов. Результаты исследования апробированы на двух машиностроительных холдингах. В результате апробации во многом удалось реализовать предложенные рекомендации и достичь заявленных эффектов цифровизации сквозной системы планирования в машиностроительном холдинге. В то же время были выявлены проблемы, ограничивающие полное достижение целей. Проблемы межфункционального взаимодействия по поводу планирования в цифровой среде определили направления дальнейших исследований. Исследование полезно руководителям и специалистам машиностроительных холдингов в функциях «планирование», «производство», «развитие», «информационные технологии (ИТ)», а также сотрудникам ИТ и консалтинговых компаний, которые разрабатывают и внедряют системы планирования в цифровой среде.

Ключевые слова: планирование, цифровизация, производство, холдинг

Благодарности: Авторы выражают благодарность О.Б. Козловскому, А.А. Андюкину, Е.В. Долгановой и Я.Я. Копу за управленческую поддержку и смелое целеполагание на всех проектах модернизации планирования

Для цитирования: Фомин С.Г., Ермакова Ж.А. (2024) Цифровизация системы планирования на предприятиях машиностроения: результаты, проблемы, перспективы. π-Economy, 17 (5), 9–31. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.17501

© Фомин С.Г., Ермакова Ж.А., 2024. Издатель: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

Research article
DOI: https://doi.org/10.18721/JE.17501

DIGITALIZATION OF THE PLANNING SYSTEM AT MECHANICAL ENGINEERING ENTERPRISES: RESULTS, PROBLEMS, PROSPECTS

S.G. Fomin ✉ , **Zh.A. Ermakova**

Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russian Federation

✉ semafom@gmail.com

Abstract. The article considers the issues of digitalization of the end-to-end planning system of economic forms of enterprise associations (holdings, corporations, clusters), when many enterprises at all planning levels should work in one technical and methodological planning system. The purpose of this study is to substantiate the digitalization of the end-to-end planning system in the machine-building holding, including enterprises of single and small-scale production type. Based on a review of domestic and foreign studies in the field of planning from the 1920s to the present day, the following stages of informatization of the planning process are considered: the use of mechanical engineering tools, computerization, digitalization; the relevance of the transition of the planning system of machine-building holding to the stage of digitalization based on certain effects; the problems of digitalization; the inevitability of changes and the need to give these changes a positive content of modernization. From the point of view of digitalization, the elements of the planning system and their interrelations are identified: data, indicator, process, competence, tools. To ensure the creation of an end-to-end planning system, four stages of the cyclic process of changing (modernizing) the planning system in the digital environment are proposed: measurement (1) and evaluation (2) of the planning system performance, design (3) and implementation (4) of the planning system modification. The stages are considered in relation to the holding's enterprise (or enterprises) and to the planning system element. Changing the planning system element within the stage of changing the planning system itself is also considered as a cyclic process consisting of four stages. The results of the study were tested on two machine-building holdings. As a result of testing, it was largely possible to implement the proposed recommendations and achieve the declared effects of digitalization of the end-to-end planning system in the machine-building holding. At the same time, problems limiting the full achievement of the goals were identified. The problems of interfunctional interaction regarding planning in the digital environment determined the directions of further research. The study is useful for managers and specialists of machine-building holdings in the functions of planning, production, development, information technology (IT); as well as employees of IT and consulting companies that develop and implement planning systems in the digital environment.

Keywords: planning, digitalization, production, holding

Acknowledgements: The authors express their gratitude to O.B. Kozlovsky, A.A. Andyukin, E.V. Dolganova and Ya.Ya. Kop for managerial support and bold goal-setting in all planning modernization projects.

Citation: Fomin S.G., Ermakova Zh.A. (2024) Digitalization of the planning system at mechanical engineering enterprises: results, problems, prospects. π-Economy, 17 (5), 9–31. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.17501

Введение

Актуальность

Мировые и российские промышленные компании считают развитие планирования одним из важнейших факторов повышения эффективности бизнеса, создания конкурентных преимуществ. С учетом сегодняшних реалий развитие планирования во многом строится на основе цифровизации. Особую сложность представляют задачи цифровизации сквозного планирования

© Fomin S.G., Ermakova Zh.A., 2024. Published by Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University

для экономических форм объединений предприятий (холдингов, корпораций, кластеров), когда в одной технической и методической системе планирования должны работать многие предприятия на всех уровнях планирования.

Сегодня кажется очевидным, что для планирования крупных производственных систем требуется работа с большим количеством данных, которые формируются из многих источников различных функциональных областей. С середины прошлого века ученые и практики использовали или рассматривали возможность использования для решения этих задач мощности вычислительной техники; тем самым как минимум решалась дилемма между скоростью и точностью планирования: с одной стороны, чем больше актуальных детальных данных будет использовано в правильно построенном с методической точки зрения процессе планирования (в том числе в расчетах), тем более точным будет его результат; с другой стороны, стремление к повышению актуальности, детальности, объема информации усложняет задачи работы с данными, что приводит к замедлению и снижению точности планирования.

Возросла востребованность цифрового развития – в целом по промышленности в 2023 г. эту тенденцию отметили более 30% руководителей против 22% годом ранее, а по машиностроению тенденция еще более явная – рост составил с 15% в 2022 г. до 35% в 2023 г. Около 2,2% ВВП (в 2019–2022 гг.) составляют внутренние затраты организаций на цифровые технологии, вклад обрабатывающей промышленности в эти затраты составляет 12,5% (третье место после отрасли информации и связи и финансового сектора). 2,8% сотрудников машиностроительной отрасли применяют в своей работе цифровые технологии (второе место после отрасли информации и связи) [1, 2]. Ресурсы, направленные на цифровизацию машиностроения, должны быть использованы рачительно, что возможно только при наличии правильных методов цифровизации.

Актуальность темы исследования обоснована потребностью в интеграции отечественных методических и технических подходов к планированию с разрабатываемыми отечественными программными продуктами, используемыми предприятиями машиностроения.

Дополнительную актуальность исследованию придает наличие возрастающих ограничений доступа предприятий и науки к зарубежным прикладным решениям (информационные системы, методики) и теоретическим достижениям в области развития систем планирования.

Информатизация производственной среды, оборудования, применение математических методов для решения экономических задач, в том числе планирования, на повестке уже не первое десятилетие. Современный этап цифровизации управления в России, начавшийся с информатизации бухгалтерских и финансовых операций, переходит к более сложным задачам, таким как планирование, которое ранее не считалось приоритетным для цифровизации. Остается открытым вопрос, будут ли эффективны при цифровизации ранее используемые методы в планировании. В условиях практически повсеместной компьютеризации управленческого труда цифровизация планирования позволяет использовать новейшие достижения (например, распределенные системы и искусственный интеллект) для внедрения практик и теорий, ранее не поддерживаемых соответствующими технологиями, это создает потенциал повышения конкурентоспособности и устойчивости предприятий.

Данная статья посвящена вопросам планирования производства продукции, включая снабжение, изготовление, продажи и сбыт. Значительное внимание при исследовании модернизации системы планирования было уделено возможности корректировок сквозных планов в процессе выпуска изделий, что особенно актуально в условиях интенсивно изменяющихся внешних факторов. С точки зрения межфункциональных связей были рассмотрены отдельные вопросы влияния проведения опытно-конструкторских работ на сквозную систему планирования в цифровой среде. Подходы к планированию научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в интегрированной цифровой среде планирования требуют дальнейшего изучения.

Литературный обзор

Планированием на микро-, мезо- и макроуровнях народного хозяйства как в теоретическом, так и прикладном аспектах занимается ряд выдающихся ученых.

Вопросы планирования деятельности народного хозяйства, отраслей, предприятий всесторонне рассматриваются отечественными учеными.

С.Г. Струмилин участвовал в разработке первых планов макроуровня (государства) в СССР на среднесрочный и долгосрочный период, в том числе разработал первый пятилетний план на 1926/27–1930/31 гг., продолжал исследования на теоретическом уровне до 1960-х гг., особое внимание уделял вопросам планирования как инструментария взаимодействия с внешней экономической средой, поиску оптимальных подходов к планированию [3].

Н.Д. Кондратьев был разработчиком первого плана развития сельского хозяйства и лесной отрасли в СССР на 1923–1928 гг., использовал математические методы (модели) и сформировал концепцию длинных волн, применяемую для стратегического планирования на макроуровне [4].

Л.В. Канторович, В.В. Новожилов, В.С. Немчинов с 1930-х до 1960-х гг. комплексно исследовали вопросы планирования на уровне государства и предприятий; разрабатывали теории и решали прикладные задачи планирования; особое внимание уделяли применению математических методов для поиска оптимальных решений в условиях ограничений; основали дисциплину и методы линейного программирования, которые применяются для решения оптимизационных задач в планировании и сегодня [5].

В.А. Базаров, П.С. Осадчев и др. в 1920–1930-е гг. заявляли о необходимости применения научного подхода, математических методов и моделей к теории и методологии планирования и прогнозирования; рассматривали такие понятия, как объект, субъект, метод и цели планирования; предложили пути к согласованию генетического и телеологического подходов к планированию при решении практических задач планирования; уделяли внимание планированию в первую очередь на макроуровне государственного управления сначала на краткосрочном, а затем и на долгосрочном горизонте [6].

А.К. Гастев в 1920–1930-е гг. рассматривал вопросы планирования в контексте управления производственными операциями на предприятии, особое внимание уделял нормированию, точности данных, производственным отношениям как основе для планирования; изучал проблемы планирования на уровне предприятия и ниже – до рабочего центра и рабочего места [7].

С.Л. Соболев, В.М. Глушков и др. в 1950–1970-е гг. развивали подходы к использованию информационных технологий, кибернетики для организации систем планирования на различных уровнях – от макроуровня до уровня предприятий, особое внимание уделяя поиску оптимальных решений задач планирования [8, 9].

А.С. Родов и др. в 1964 г. на основе опыта построения системы планирования на Новочеркасском электровозостроительном заводе (НЭВЗ) изложили практику внедрения систем планирования уровня предприятий и сформировали методику планирования для машиностроительных предприятий, определили дальнейшее развитие планирования через использование электронно-вычислительных машин (ЭВМ) [10].

Коллективы советских ученых в период с 1920-х до 1970-х гг. достигали высоких теоретических и практических результатов в вопросах планирования различного уровня, создавали специализированные научные и государственные организации в этой области.

В зарубежной литературе первое время при разработке теоретических основ планирования во многом использовались наработки советских ученых. Примерно с 1970-х гг. начали разрабатываться методические подходы к информатизации предприятий, включающие не только планирование, но и обеспечение данными, производственный учет и другую функциональность. Эти подходы получили широкое применение сегодня, в том числе по причине использования в наиболее распространенных инструментах цифровизации планирования.

Дж. Форрестер в 1960–1990-е гг. развивал применение подходов кибернетики, системной динамики для создания систем планирования от микроуровня отдельного предприятия до макроуровня всего человечества, применял для решения задач планирования компьютерное моделирование [11]. Дж. Орлицки в 1970-е гг. ввел термин Material Requirements Planning (MRP) и сформулировал полезность применения компьютеров для решения задач планирования по методу MRP [12]. О. Уайт в 1980-е гг. развивал идеи MRP до охвата всего бизнеса, а не только производственных процессов, а также предложил методы оценки информатизации планирования, классифицировал предприятия по стадиям зрелости системы планирования, выявил потенциальные эффекты к получению от развития систем планирования [13]. С 1950-х гг. и до наших дней ASCM[1] (Association for Supply Chain Management – некоммерческая международная образовательная организация, реализующая программы стандартизации и сертификации специалистов в области производственного операционного управления) популяризирует развитие систем планирования и предпринимает попытки создания универсальной терминологии для планирования за счет совместной работы практикующих профессиональных плановиков корпораций из разных отраслей.

Современные зарубежные авторы уделяют большое внимание цифровизации планирования.

R.M. Galankashi et al. раскрывают цифровизацию планирования как один из основных драйверов повышения гибкости в производственных компаниях, что в свою очередь приводит к повышению эффективности деятельности компании в целом [14]. T.S. Deepu et al. анализируют три группы факторов принятия решений (организационные, технологические, инновационные) в отношении цифровизации планирования для достижения максимальной эффективности цифровизации с учетом специфики конкретной компании [15]. K.P. Liu et al. выявили положительную взаимосвязь в промышленных предприятиях между цифровизацией, интеграцией и финансовыми показателями, а также определили, что крупные компании получают наибольшую выгоду от цифровизации сначала своей внутренней цепи поставок, а затем внешней, в то время как малые предприятия, наоборот, получают выгоду в первую очередь от цифровизации внешней цепи поставок [16]. S. Lou et al. изучают вопросы определения оптимальных границ для цифровых платформ цепей поставок с учетом затрат и компетенций, необходимых для поддержания платформы, выбора стратегического приоритета между развитием взаимодействия организации с внешней средой и внутренним ростом организации [17]. A. Aamer et al. изучают элементы (технологии, люди, процессы) и факторы, способствующие цифровизации промышленности: ИТ-инфраструктура, системы кибербезопасности, переподготовка и повышение квалификации в области цифровизации, культура цифровизации, поддержка высшего руководства, стратегия цифровизации и инноваций, интегрированная цепочка поставок, управление цифровыми инновациями, управление большими данными и аналитика данных, государственное регулирование [18]. C. Culotta et al. изучают вопросы создания и применения цифровых платформ в промышленных предприятиях [19]. K. Kalaboukas et al. рассматривают возможность применения технологии цифровых двойников для управления промышленными цепочками поставок, особое внимание уделяют конвергенции продукта, производственной среды и системы планирования при формировании системы цифровых двойников цепочек поставок [20]. D. Ivanov et al. изучают создание облачных цифровых платформ для управления цепочками поставок, утверждают, что цепочки поставок, управляемые через подобные платформы, приобретают новые свойства, такие как многоструктурная динамика, экосистемность, прозрачность, динамический состав услуг с динамически меняющимися ролями покупателя/поставщика, устойчивость и жизнеспособность, переплетенные сети поставок и круговая экономика [21].

Зарубежная теория и практика планирования активно развиваются во многом через сочетания устоявшихся общепринятых методов с применением нового инструментария цифровизации, что позволяет выводить планирование на новый уровень.

[1] ASCM – Association for Supply Chain Management. [online] Available at: // https://www.ascm.org [Accessed 02.10.2024].

Современные российские авторы в своих исследованиях основываются как на отечественном, так и на зарубежном опыте.

Д.А. Гаврилов адаптирует зарубежные стандарты и методы планирования, получившие активное развитие в 1980–2010 гг., к российским реалиям и в российской терминологии на основе членства в международных ассоциациях по планированию и опыта внедрения систем на российских предприятиях, особенно в машиностроительной отрасли [22]. В.В. Солодовников на основе зарубежных методик систематизирует практику внедрения систем планирования в отечественных и международных холдингах черной металлургии, изучает вопросы планирования на микроуровне – предприятий, в том числе холдинговых объединений, особое внимание уделяет цифровизации планирования на основе типовых методов [23]. А.Е. Карлик изучает вопросы цифровизации систем планирования и особое внимание уделяет факторам, обеспечивающим успешную цифровизацию планирования; предложенные подходы применимы как на микро-, так и на макроуровне [24]. Е.В. Смирнова исследует модификации системы планирования промышленного предприятия для адаптации к изменениям системной среды промышленного предприятия, изучает планирование на микроуровне предприятия и на макроуровне государства, а также взаимосвязи и взаимовлияния систем планирования этих уровней [25]. Ж.А. Ермакова рассматривает планирование как регулирующее воздействие для региональных кластеров [26]. И.О. Самохвалов предлагает прикладные действия для повышения эффективности планирования в рамках реализации проекта создания поездов для высокоскоростного железнодорожного движения – создание единой номенклатурной базы изделий для поездов [27]. Исследования современных российских авторов охватывают вопросы планирования разных уровней и функциональных областей в широком диапазоне теоретической и прикладной значимости.

С.Ю. Глазьев считает моментом начала информационно-цифровой революции появление ЭВМ [30].

Процесс, включающий стадии развития от ЭВМ, перфокарт, компьютеров и далее до современной цифровизации, наиболее корректно можно назвать «информатизацией». Информатизация охватывает всю историю внедрения и эволюции информационных технологий. Этот термин отражает общий процесс развития, в ходе которого происходили внедрение *машинотехнических средств*, *компьютеризация*, а затем и *цифровизация* всех аспектов работы и управления информацией в различных сферах. Процесс информатизации планирования проявляется через применение информационных технологий. Информатизация планирования началась на уровне государства, затем в промышленных объединениях и на крупных предприятиях. Сегодня независимо от масштаба бизнеса для планирования применяются информационные технологии, что обусловлено в том числе их доступностью. По нашему мнению, процесс информатизации планирования активизировался с появлением персональных компьютеров. Массовое применение вычислительных мощностей для решения задач планирования характеризуется быстрым (за 30 лет) прохождением стадий информатизации: от применения машинотехнических средств через компьютеризацию к цифровизации. В контексте промышленных предприятий на стадии применения машинотехнических средств существовали отдельные, локальные «машины» (ЭВМ, ПВМ – персональные вычислительные машины, компьютеры) для решения узкофункциональных задач, например, бухгалтерии; переход на стадию компьютеризации произошел после объединения компьютеров предприятия в заводскую сеть; на стадии цифровизации функционирует всеобъемлющая информационная среда, созданная цифровыми технологиями. Выявленные характеристики стадий информатизации систем планирования предприятий (применение машинотехнических средств, компьютеризация и цифровизация) представлены в табл. 1.

Цифровизация как стадия информатизации системы планирования характеризуется постоянно действующей и не ограниченной в своем развитии интеграцией, мгновенным и непрерывным

отражением событий материального потока в информационных системах без специальных действий для этого, решением всех возможных задач только в цифровой среде.

Таблица 1. Характеристики стадий информатизации систем планирования
Table 1. Characteristics of the stages of informatization of planning systems

Стадия	Интеграция	Актуальность данных планирования	Уровень, задачи планирования
Применение машинотехнических средств	Отсутствует или выполняется как уникальное событие	Высокая трудоемкость и сложность отражения материального потока в информационной системе (ИС)	Узкофункциональные арифметические задачи для разового уникального и/или оперативного решения
Компьютеризация	Ограничена заранее определенной областью	Ввод в ИС не требует особых навыков, носит регулярный дискретный характер, требует специальных действий	Многофункциональные задачи взаимодействия и расчетов оперативного и тактического уровня
Цифровизация	Постоянно действующая и неограниченная в своем развитии	События материального потока мгновенно и непрерывно отражаются в ИС без специальных действий для этого	Все возможные задачи решаются только в цифровой среде
Вывод о наблюдаемой тенденции	Повышается степень интеграции до работы в едином непрерывном информационном пространстве	Повышается актуальность данных в цифровой ИС за счет сближения вплоть до соединения материального и информационного потоков	Повышается степень абстракции, уровень сложности и ассортимент задач, решаемых непосредственно и только в цифровой среде

Составлено авторами на основе анализа практических примеров и литературы [14, 28].

Такие тенденции информатизации систем планирования по направлению к стадии цифровизации можно обозначить «цифровой трансформацией». Это становится возможным за счет повышения функциональности информационных систем, что, кроме прочего, значительно снижает барьер доступности взаимодействия с цифровой средой для участников процессов планирования, формирует новые требования к компетенции плановиков.

Вместе с тем остается нерешенным ряд вопросов, связанных с организацией и эффективностью цифровизации планирования на предприятиях. В частности, мало разработанной выступает цифровизация сквозного планирования для экономических форм объединений предприятий (холдингов, корпораций, кластеров и пр.), включающих предприятия машиностроения с объемами выпуска и поставки продукции единичного и мелкосерийного типа производства.

Цель

Целью настоящего исследования является обоснование цифровизации сквозной системы планирования в машиностроительном холдинге, включающем предприятия с объемами выпуска и поставки продукции единичного и мелкосерийного типа производства.

Для достижения цели поставлены следующие задачи:

– определить эффекты, получаемые предприятием от цифровизации внутрифирменного планирования;

– обозначить элементы сквозной системы планирования машиностроительного холдинга с точки зрения цифровизации;

– исследовать изменения системы планирования машиностроительного холдинга для приобретения свойств сквозной и цифровой;

– сформулировать предложения по внедрению и развитию цифровизации системы планирования, выявить связанные с этим проблемы и риски, предложив соответствующие рекомендации.

Объект исследования – машиностроительный холдинг. Исследована цифровизация процессов планирования на среднесрочном и оперативном уровне как в рамках одной производственной бизнес-единицы (завод, предприятие, организация, фабрика), так и для крупных объединений из нескольких производственных единиц, включающих в том числе предприятия машиностроения с объемами выпуска и поставки продукции единичного и мелкосерийного типа производства. Предметом настоящего исследования являются экономические отношения, формирующиеся между участниками планирования в процессе цифровизации (изменения бизнес-процессов).

Методы и материалы

В работе применены следующие методы: индукции и дедукции – от частных наблюдений прикладных решений к общим методическим выводам и затем обратно к применению методик на практике при развитии системы планирования; монографический метод с концентрацией на проблемах планирования машиностроительных холдингов, включающих предприятия с объемами выпуска и поставки продукции единичного и мелкосерийного типа производства; эмпирические методы сбора информации о планировании – группировка и анализ показателей, анкетирование для выявления предпосылок, формирующих внутреннюю потребность машиностроительных предприятий в цифровизации системы планирования, а также для оценки адекватности полученных результатов поставленным целям цифровизации планирования; очное и заочное систематизированное интервьюирование в отношении системы планирования предприятий.

Теоретическую основу исследования составляют труды российских и зарубежных ученых по экономическому и производственному планированию, кибернетике и цифровизации планирования, планированию как части системы управления предприятием.

Исходными материалами для исследования послужили документы, информационные отчеты и аналитические материалы холдинга среднего машиностроения Топливная компания госкорпорации «Росатом» «ТВЭЛ» (ТВЭЛ) и холдинга транспортного машиностроения «Синара – Транспортные машины» (СТМ). Аналитические и информационные материалы включали: отчеты о замерах и оценке показателей, в том числе на основе транзакций в информационной системе; аналитические отчеты документов планирования и фиксации наблюдений за процессом планирования; отчет об интервьюировании. Для целеполагания на основе лучших практик использованы отчеты ведущих мировых поставщиков программного обеспечения для планирования и консультантов. В качестве источников статистических данных по актуальной ситуации цифровизации в промышленности РФ использованы отчеты НИУ ВШЭ и информация Росстат.

Результаты

Современные методы и инструменты организации процессов планирования с использованием цифровых технологий повышают эффективность планирования. Цифровизация позволяет осуществлять планирование на качественно новом уровне, на порядки повышая скорость, количество данных и участников планирования.

Мы рассматриваем цифровизацию двояко: с одной стороны, внешняя среда требует быстрого перевода планирования в цифровую среду, с другой – цифровизация дает технико-методические возможности организации единой (сквозной) системы планирования в холдингах и иных объединениях. Таким образом, цифровизация – это вызов и шанс одновременно.

Система планирования состоит из нескольких элементов. При построении системы планирования в машиностроительных холдингах необходимо учитывать все направления модернизации:

этапность модификации системы планирования, элементы системы планирования и их изменения, предприятия холдинга (включая управляющую компанию). Построение системы планирования с использованием цифровизации предполагает гармоничное развитие всех направлений.

Для машиностроительных холдингов целью цифровизации системы планирования является создание сквозной системы планирования машиностроительного холдинга. Такая система позволяет создать в холдинге управляемый процесс планирования посредством централизованного конфигурирования процесса планирования через интегрированные информационные системы. Под управление процессом в данном случае подпадают и определение алгоритма процесса, и исполнение этого алгоритма. Достичь такой управляемости процесса в современной информационно-насыщенной промышленной среде невозможно иными способами, кроме как цифровизацией; альтернативные подходы, например регламентация и стандартизация процессов планирования, должны быть использованы как обеспечивающие.

Отечественные и зарубежные авторы предлагают различные подходы к определению элементов системы планирования. С учетом объекта и целей настоящего исследования, с упором на такие характеристики системы планирования, как сквозная и цифровая, а также с концентрацией на машиностроительных холдингах, мы предлагаем авторский подход к определению элементов системы планирования с точки зрения цифровизации в табл. 2.

Таблица 2. Элементы системы планирования в рамках цифровизации
Table 2. Elements of the planning system within the framework of digitalization

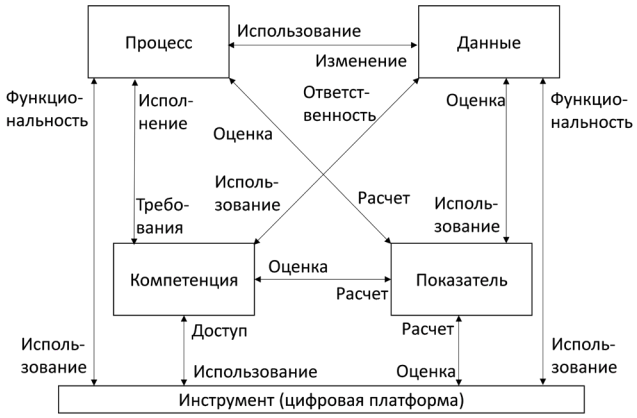
Элемент	Определение	Характеристики
Процесс	Все последовательности действий, которые необходимы для выполнения всех задач планирования	Внутрифункциональные и кросс-функциональные; регулярные и по событию; рекурсивность – процессы верхнего уровня содержат в себе процессы нижнего уровня
Данные	Подмножество (используемых для решения всех задач планирования) множества всех данных во всех источниках	Динамические данные; нормативные данные; техногенные данные
Показатель	Формируются в процессах и на основании данных планирования, используются для измерений и оценок	Количественные и качественные; Внутренние и внешние
Компетенция	Требования к ролям и к исполнителям ролей в планировании	Внутренние и внешние
Инструментарий	Аппаратные, программные и прочие средства осуществления планирования	Бизнес-функциональные и техногенные; глобальные (сквозные) или локальны

Составлено авторами путем развития и дополнения сущностей SCOR-модели[2].

План развития цифровой сквозной системы планирования в машиностроительном холдинге должен включать развитие всех элементов. Недостаточность развития одного из них снижает надежность системы планирования, приводит к недостижению поставленных перед ней целей, к повышенной компенсирующей нагрузке на другие элементы.

Взаимосвязи между элементами системы планирования определяют необходимость гармоничного развития этих элементов. Каждый элемент связан с каждым элементом двунаправленной связью, взаимосвязи представлены на рис. 1.

[2] ASCM Supply Chain Operations Reference Model. SCOR Digital Standard. [online] Available at: https://www.ascm.org/globalassets/ascm_website_assets/docs/intro-and-front-matter-scor-digital-standard2.pdf [Accessed 02.10.2024].



Разработано авторами применительно к цифровизации системы планирования.

Рис. 1. Элементы системы планирования применительно к цифровизации

Fig. 1. Elements of the planning system in the context of digitalization

Поскольку все элементы системы планирования взаимосвязаны между собой, на рисунке показаны двусторонние связи. Система планирования, создаваемая как комплекс элементов, обеспечивает достижение целевых эффектов.

Анализ проведен на основе машиностроительных холдингов ТВЭЛ и СТМ. Для этих холдингов, включая предприятия, характерны эффекты цифровизации планирования: внешние – снижение запасов, обеспечение возможности расширения ассортимента выпускаемой продукции, повышение уровня клиентского сервиса; и внутренние – снижение трудоемкости планирования, параллельность централизованного планирования за счет одновременной датацентричной работы плановиков многих предприятий, что позволяет кардинально снизить длительность планирования, положительно влияет на сокращение срока прохождения управленческого сигнала и согласованность планов.

Характеристики единичного и мелкосерийного типа производства определяют требования к особенностям планирования, что отражено в табл. 3.

Требования к системе планирования должны учитывать специфику производственной среды в машиностроительном холдинге, включающем предприятия с объемами выпуска и поставки продукции единичного и мелкосерийного типа производства; для формирования специфичных требований следует использовать табл. 3.

С учетом сегодняшних скоростей принятия решений и изменчивости факторов удовлетворить этим требованиям к сквозной системе планирования машиностроительного холдинга возможно только на основе цифровых инструментов.

Рассмотрим разработанную систему сквозного планирования машиностроительного холдинга с использованием цифровых инструментов и этапы построения этой системы. Разработка системы началась и частично была реализована на заводе Уралхиммаш (тяжелое машиностроение для нефтегазохимии), получила развитие в ТВЭЛ (включает несколько заводов среднего машиностроения) и в наибольшей степени была реализована в СТМ (включает более десяти заводов).

Промышленная среда холдинга определяет готовность системы планирования к переходу на стадию сквозной цифровизации. Важные аспекты функционирования цифровой системы планирования – это наличие необходимых данных, обеспечение поддержки смежных систем и функций. В табл. 4 показаны требования к показателям системы планирования [29].

Критерии точности для каждого показателя были определены в соответствии с его спецификой. Для каждого показателя типовые подходы и методики расчета должны быть адаптированы

с учетом специфики предприятия. В упрощенной форме взаимоувязать показатели можно следующим образом: чтобы точно поставить продукцию заказчику, надо сформировать план производства готовой продукции, соответствующий заказам клиентов; чтобы выполнить план производства, должны быть вовремя поставлены покупные ТМЦ и вовремя произведены полуфабрикаты собственного изготовления; чтобы вовремя произвести полуфабрикаты собственного изготовления, необходима информация о мощностях, спецификациях, техпроцессах и запасах; чтобы мощности, спецификации и техпроцессы были готовы к моменту, когда они потребуются, должны быть своевременно выполнены этапы технологической подготовки производства, разработки конструкторской и технологической документации; чтобы система планирования в целом была стабильна, планы и прогнозы продаж должны быть в допустимых пределах изменчивости в рамках цикла планирования. За каждую группу показателей есть свои ответственные по функциональным вертикалям и соответствующим смежным (под)системам.

Таблица 3. Требования к цифровизации планирования с учетом характеристик единичного и мелкосерийного типа производства
Table 3. Requirements for planning digitalization taking into account the characteristics of single-piece and small-scale production

Характеристика типа производства	Требование к цифровизации планирования
Низкий темп производственного процесса готовой продукции; компоненты, составляющие готовую продукцию, могут изготавливаться с большей скоростью	Возможности обработки информации и корректировки планов из-за несоответствий низких темпов сборки готовой продукции и высоких темпов изготовления компонентов
Длительный производственный цикл	Обеспечение интеграции многочисленных оперативных и краткосрочных планов на протяжении продолжительного непрерывного периода
Управление жизненным циклом продукции	Возможность планирования на всех стадиях жизненного цикла продукции

Разработано авторами для контекстуального определения требований к модификации системы планирования.

Для получения максимально возможных эффектов цифровой системе сквозного планирования машиностроительного холдинга необходимо стремиться придать следующие свойства [29–31]: эмерджентность, делимость, адаптивность, мобильность, гибкость; целенаправленность, целостность, структурированность планов по содержанию, объему, детализации информации и интервалам планирования, целеориентированность интеграции разделов плана, гибкость, актуальность, экономичность, взаимосвязанность, отчуждаемость; способность к эволюционному развитию, модульность, пригодность (контролируемость, управляемость данных, безопасность, производительность, доступность и масштабируемость), интегрируемость, функциональность.

Система планирования машиностроительного холдинга находится в непрерывном цикличном изменении в связи с влиянием изменяющихся внутренних и внешних факторов. Е.В. Смирнова, исследуя этот вопрос, предлагает использовать в отношении изменений (модификаций) системы планирования термин «модернизация» в значении «вводить усовершенствования, улучшать и обновлять объект, сделать отвечающим современным требованиям» [25]. Мы считаем, что процесс изменения происходит постоянно – управляемо или нет. Результат управляемого процесса изменения системы планирования направлен на модернизацию; результат неуправляемого процесса непредсказуемый, зачастую – деградация. Схематично процесс изменения системы планирования представлен на рис. 2.

Таблица 4. Показатели эффективной системы планирования
Table 4. Indicators of an effective planning system

Показатель	Примечание	Целевое значение, %
Готовая продукция для заказчика	Отношение поставленной готовой продукции точно к общему количеству заказанной готовой продукции	90
Точно в срок товарный выпуск	Отношение произведенной продукции по отношению к общему количеству продукции согласно плану	95
Поставки сырья и материалов в срок	Отношение поставленных на предприятие покупных товарно-материальных ценностей (ТМЦ) по отношению к потребности в покупных ТМЦ согласно плану	95
Производство полуфабрикатов собственного изготовления	Отношение произведенных полуфабрикатов в срок по отношению к общему количеству полуфабрикатов согласно плану	95
Информация о мощностях	Количество точных записей о производственных мощностях по отношению к общему количеству записей	95
Точность спецификаций	Количество точных записей о спецификациях продукции по отношению к общему количеству записей	98
Точность техпроцессов	Количество точных записей о техпроцессах по отношению к общему количеству записей	98
Точность запасов	Количество точных записей о запасах по отношению к общему количеству записей	95
Технологическая подготовка производства*	Количество выполненных заданий на подготовку производства по отношению к общему количеству заданий	98
Разработка конструкторской и технологической документации*	Количество выполненных заданий на разработку документации по отношению к общему количеству заданий	95
Стабильность плана	Изменчивость плана от версии к версии и в процессе декомпозиции планового задания	75
Точность прогноза продаж	Изменчивость прогноза продаж от версии к версии	75
Цифровая зрелость*	Количество элементов в единой цифровой среде по отношению к общему количеству элементов системы планирования	75

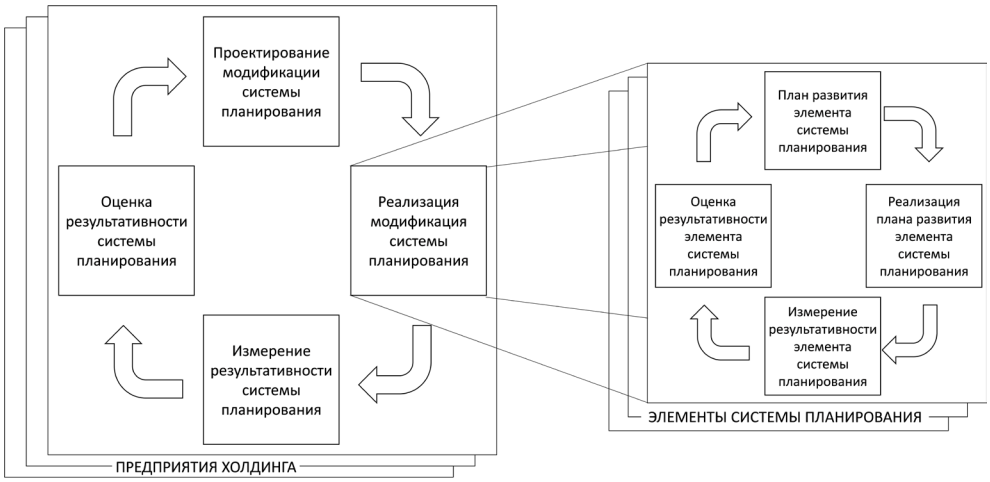
Таблица показателей частично заимствована из [29] и дополнена авторским вкладом – показатели, отмеченные звездочкой (*).

Схема процесса изменения (модернизации) системы планирования содержит этапы ее изменений в разрезе предприятий и элементов системы планирования, а также этапы изменений самих элементов. Такой подход к модернизации обеспечивает осуществление управляемого процесса изменения системы планирования, в частности – цифровизации. Эта схема позволяет частично раскрыть понятие «сквозной» системы планирования в значении полноты охвата и применения унифицированных элементов системы планирования на всех предприятиях.

Процесс изменения системы планирования начинается с этапа измерения ее результативности. На этом этапе количественные и качественные показатели определяются (если ранее не были определены) и замеряются.

На следующем этапе – оценке результативности – определяются целевые показатели системы планирования (если ранее не были определены), проводится их сопоставление с фактическими.

На этапе проектирования модификации системы планирования для достижения целевого состояния определяются подходы к ней, позволяющие осуществить изменения наиболее экономным способом. В машиностроительном холдинге при реализации сквозной системы планирования



Авторская разработка визуализации модификации системы планирования выполнена с использованием модели стоимостного управления проектами TCM [32].

Рис. 2. Процесс изменения системы планирования в холдинге

Fig. 2. Process of changing the holding planning system

в цифровой среде с использованием эволюционного подхода к модификации на этом этапе необходимо:

– интегрировать существующие системы планирования на предприятиях холдинга или внедрять новые системы;

– использовать узкоспециализированный модуль для планирования или воспользоваться универсальным программным обеспечением;

– осуществлять цифровизацию в функциональной последовательности (цифровизовать сначала одну функцию во всех бизнес-единицах, затем другую и т.д.) или в организационной последовательности (цифровизовать все функции сначала на одном предприятии, затем на другом и т.д.);

– переводить в цифровую среду существующие процессы планирования и данные для планирования или сначала реализовать мероприятия по нормализации процессов и данных;

– формировать централизованную верхнеуровневую систему планирования в управляющей компании на основе и после цифровизации систем планирования нижестоящих уровней или в первую очередь достичь целевого состояния системы планирования верхнего уровня, а затем переходить к нижестоящим.

На этапе реализации модификации системы планирования разрабатываются и внедряются изменения элементов системы планирования.

Модернизация системы планирования в ТВЭЛ проводилась коллективом внутренних лидеров изменений, научных сотрудников ВШЭ и СПбПУ, консультантов ведущих российских и международных поставщиков программного обеспечения для планирования. Модернизация заключалась в построении сквозной и цифровой системы планирования в холдинге, включая предприятия с совокупной выручкой более 200 млрд руб.

Первый этап – измерения результативности системы планирования ТВЭЛ – включал разработку методики картирования, моделирование материального потока производства, моделирование информационного потока планирования. Выполнены замеры времени протекания процессов планирования, посчитаны ключевые показатели эффективности. Получены комментарии о проблемах в системе планирования, которые следует в первую очередь рассмотреть для решения через цифровизацию.

Источник: разработано авторами.

Рис. 3. Оценка удовлетворенности планированием в ТВЭЛ

Fig. 3. Assessment of satisfaction with planning via TVEL

Второй этап – оценка результативности системы планирования – включал определение целевой системы планирования; для этого использовалось анкетирование, в том числе: составление анкеты, проведение анкетирования, анализ ее результатов, их представление. Анкета включала семь вопросов для оценки текущего и желательного состояния системы планирования; для каждого вопроса было предложено три варианта оценки и от трех до десяти уточняющих характеристик, которые надо было оценить по пятибалльной шкале. В анкетирование приняли участие восемь предприятий, были охвачены функции продажи, производство, развитие производственной системы, техническое развитие и качество, финансы и экономика, генеральные директора, безопасность. Всего было обработано 647 ответов. Выявлены запросы на сокращение длительностей планирования: на 44% для регулярного ежемесячного/ежеквартального планирования, на 6% для оценки изменения плана, на 34% при внедрении изменения плана. Полученные в результате анкетирования оценки удовлетворенности качества, трудоемкости, оптимальности плана, длительности процесса планирования представлены на рис. 3.

Определены абсолютные значения целевой длительности планирования, некоторой необходимой к внедрению функциональности системы планирования и ожидания от финансово-экономических драйверов эффектов внедрения цифровой системы планирования.

На третьем этапе – проектировании модификации системы планирования – на основе состояния данных, ИТ-ландшафта и организационной готовности были сформулированы предложения о подходах к ней. Предложения были реализованы на четвертом этапе.

Выявлены 49 видов данных, необходимых для осуществления планирования:

– с учетом специфики производства часть данных хранится в специализированных информационных системах класса 1Б в выделенном сегменте либо вне информационной системы;

– 11 видов данных ведутся в информационных системах;

– для 25 видов данных есть функциональность в информационных системах, но данные не ведутся в информационных системах;

– для ведения 13 видов данных нужны доработки информационных систем.

ИТ-ландшафт предприятий разнородный, но на всех предприятиях установлена система SAP, в которой есть функциональность ведения планов производства. Поэтому принято решение использовать SAP как единый источник данных для сквозной системы планирования, в том числе в первом цикле модернизации системы планирования для мониторинга показателей дисциплины исполнения планов производства.

Ролевая структура функции планирования и процессы планирования разнородны по предприятиям и продуктовым вертикалям, что формулирует заказ на унификацию ролей и функций в сквозной системе планирования.

На четвертом этапе – реализации модификации системы планирования – для каждого элемента системы планирования были спланированы, реализованы, измерены и оценены изменения. Изменения были спланированы исходя из возможных сроков реализации, распространялись по сквозному принципу одинаково на все предприятия или носили локальный характер.

Для всех предприятий машиностроительного холдинга ТВЭЛ определены частично единые (охватывает не все уровни планирования) процессы, данные, показатели, компетенции и инструментарий. Мониторинг соблюдения организован с использованием системы QlikView класса Business Intelligence (BI), источник данных – информационная система SAP, установленная на всех предприятиях холдинга по единому шаблону. Ответственные назначены на роль главного планировщика завода. Контроль показателей запасов и исполнения планов производства точно в срок продемонстрировал положительное влияние наличия корпоративных требований к заводским системам планирования производства – на 30% улучшилась дисциплина исполнения производственных планов заводов, запасы достигли целевых значений.

ТВЭЛ имеет вертикально-интегрированную структуру. Для некоторых его предприятий были внедрены специальные элементы системы планирования, предназначенные для регулярной интенсивной межзаводской кооперации. Для одной из продуктовых групп по внутрихолдинговой кооперации достигнуты показатели: повышение точности заказа (точность спроса) на 54% на горизонте трех месяцев, повышение поставки внутреннему клиенту точно в срок на уровне лучших мировых практик 98%, снижение суммарного запаса на складах готовой продукции поставщика и склада покупных ТМЦ потребителя более чем на 0,5 млрд руб.

Процесс или цикл модернизации завершился возвращением к первым этапам – для системы планирования ТВЭЛ по результатам модернизации измерены показатели и проведена оценка посредством сравнения с продемонстрированными результатами схожих холдингов, результаты представлены в табл. 5.

Не все показанные улучшения носят характеристику сквозных в ТВЭЛ, большая часть относится лишь к некоторым предприятиям и продуктовым группам. Полное достижение системой планирования состояния сквозной и цифровой – эту задачу в ТВЭЛ еще предстоит решить.

Контур построения сквозной цифровой системы планирования холдинга СТМ включал более десяти предприятий крупного транспортного машиностроения (судовые и тепловозные дизельные двигатели мощностью более 500 кВт, локомотивы, путевая техника) с совокупной выручкой более 150 млрд руб. Для достижения целевого состояния системы планирования было выполнено несколько инкрементальных циклов модернизации.

На первых двух этапах – измерении и оценке результативности системы планирования – определены показатели, организован контроль и оценка показателей, необходимых для ее цифровизации. Продемонстрированные возможности решать нестандартные производственные задачи использованы для качественной оценки системы планирования. Количественные показатели замерены по 10–15 производственным площадкам, с учетом текущей организационной

структуры холдинга. Для каждого показателя определены формулы расчета, источники данных, ответственные за данные, за расчет показателей и за достижение целевых значений показателей. В табл. 6 представлены консолидированные значения, средние по площадкам и месяцам в отчетный период.

Таблица 5. Оценка цифровой трансформации системы планирования ТВЭЛ
Table 5. Evaluation of the TVEL planning system digital transformation

Показатель	Улучшение по результатам цифровой трансформации			
	ТВЭЛ	Аналог	Источник	Консультант
Запасы, %	–20	–10 ... –30	ESCO USA, Panduit USA	Oracle
Затраты, %	–7	–7	Panduit USA	Oracle
Уровень сервиса, %	+14	+2 ... +50	Информация не раскрыта	SAP, ВШЭ
Точно-в-срок, %	+35	+32	Trinecke Zelezarny	ВШЭ и RL
Использование мощностей, %	+50	+50	Cummins Power Generation	Oracle
Длительность планирования, дн.	–60	–30 ... –90	Butler Manufacturing USA, ESCO USA, Mark Andy, Cummins Power Generation	Oracle

Составлено авторами на основе данных из открытых источников ТВЭЛ.

Таблица 6. Фактические показатели цифровой трансформации системы планирования СТМ
Table 6. Actual indicators of the STM planning system digital transformation

Показатель	2018	2019	2020	2021	2022	2023	Цель
Точность поставок продукции заказчику, %	51	83	92	73	77	62	90
Точно в срок товарный выпуск, %	55	81	90	54	43	29	95
Ритмичность, %					26	38	80
Поставки сырья и материалов в срок, %	65	74	79	84	49	50	95
Точно в срок производство полуфабрикатов собственного изготовления, %	52	68	90	73	76	н/д	95
Точность спецификаций, точность техпроцессов, %	н/д	46	70	37	н/д	н/д	98
Разработка конструкторской и технологической документации, %	н/д	н/д	69	42	н/д	30	95
Стабильность плана, %	н/д	н/д	н/д	42	н/д	26	75
Точность прогноза продаж, %	н/д	н/д	86	44	н/д	н/д	75

Составлено авторами на основе данных из открытых источников СТМ.

Лучшие значения бизнес-показателей были достигнуты в 2019–2020 гг. (рост по основным показателям со среднего уровня от примерно 55% в 2018 г. до примерно 90% в 2020 г.). В этот период происходила наиболее значимая модернизация сквозной системы планирования в цифровой среде. Планы производства начали вести в системе с начала 2020 г., основная интеграционная функциональность для планирования потребности в покупных ТМЦ была введена в эксплуатацию в середине 2020 г. Пандемия COVID-19 никак не сказалась на процессах планирования, так как в период наибольших ограничений они уже были переведены в единую цифровую среду и позволяли осуществлять планирование в гибком формате работы. Опубликованные качественные планы

на среднесрочный горизонт позволили снизить запасы по всей цепи на 0,3 млрд руб. в течение трех месяцев после внедрения регулярного процесса планирования продаж и операций. Достижение высоких показателей в тот период было обеспечено и другими факторами, такими как стабильность долгосрочного (на три года) спроса, отсутствие шоковых для производства проектов по изменению топологии производств и перераспределения продукции, сохранение стабильной команды управленцев, которые на протяжении длительного периода (более двух лет) осуществляли регулярный менеджмент операционной деятельности.

В период 2022–2023 гг. развитие системы планирования было сосредоточено на локальных функциональных задачах, например, на создании системы оперативного планирования с использованием информационной системы класса APS на отдельных предприятиях с дальнейшим тиражированием на все предприятия, или на обособленном проекте по внедрению единой системы закупок. Ранее внедренные методы и инструменты планирования в этот период продолжают функционировать.

Причина значительного падения по основным показателям с целевого уровня 2020 г. в последующие периоды заключается не во внутренних проблемах системы планирования. Модернизация системы планирования за трехлетний период продемонстрировала положительную качественную и количественную динамику. Производство получило методический и технический инструментарий, позволяющий управлять на качественно новом уровне. Модернизированная система планирования была адаптирована для бизнес-среды всех предприятий. Это все подтверждается ростом показателей на протяжении трех лет. Причиной падения показателей явились процессы на уровне менеджмента, а именно: проблемы со снабжением, вызванные отложенным эффектом пандемии, санкциями и изыманием денежных средств из операционной деятельности для развития новых бизнесов; вследствие достигнутых успехов неконтролируемое разрастание управленческого персонала с зачастую несовместимыми подходами к организации и развитию бизнеса; тенденция к децентрализации управления бизнес-направлениями, противоречащая ранее проводимой политики централизации. Эти изменения ставят новые вызовы для менеджмента компании, при этом созданная система планирования способна помочь ответить на такие вызовы, особенно с учетом встроенной в систему планирования возможности эволюционного развития.

Отметим, что мониторинг показателей претерпевает изменения на протяжении жизненного цикла развития системы планирования:

– результирующие, распространенные, устоявшиеся, понятные и наиболее доступные для расчета показатели контролируются на всем жизненном цикле системы планирования – точность поставок продукции заказчику, точно в срок товарный выпуск, поставки сырья и материалов в срок, точно в срок производство полуфабрикатов собственного изготовления;

– показатели, требующие дополнительных методических и расчетных усилий, рассчитываются периодически, чтобы обратить внимание определенные функциональные вертикали на необходимость участия в развитии системы планирования – ритмичность, точность прогноза продаж, точность спецификаций, точность техпроцессов, разработка конструкторской и технологической документации;

– показатели, требующие организации фактического наблюдения за материальным потоком или сложного анализа многих данных, наиболее сложны для замеров – точность информации о мощностях, точность спецификаций, точность техпроцессов, точность запасов;

– подход к расчету некоторых показателей изменяется по мере появления достоверных данных в системе планирования от экспертных оценок к расчету на основе данных – поставки сырья и материалов в срок, точно в срок производство полуфабрикатов собственного изготовления.

На третьем этапе модернизации были определены подходы к модернизации системы планирования, которые в СТМ отличались от примененных в ТВЭЛ. В модернизации СТМ с целью цифровизации в первую очередь подверглись элементы системы планирования на уровне холдинга.

При этом в СТМ поступательное движение направлено на построение цифровой системы сквозного планирования сверху вниз: каждый вышестоящий уровень формулирует правила и исходные данные в части планов для нижестоящего уровня. Это относится как к уровням управляющая компания – дивизион – завод, так и к уровням среднесрочное планирование – мастер-планирование – оперативное планирование. Одновременно с этим, параллельно, должен формироваться восходящий поток единых фактов от нижнего уровня материального потока до верхнего уровня стратегического управления холдингом. Принятые решения масштабируются по горизонтали – на все предприятия и функции холдинга.

На четвертом этапе модернизации системы планирования СТМ реализованы подходы в следующей последовательности:

– Цифровизация системы планирования уровня холдинга. Исключены потери в передаче данных между предприятиями и холдингом за счет работы предприятий непосредственно в системе планирования холдинга. На среднесрочном уровне сформирован единый для всех предприятий холдинга процесс планирования продаж и операций в одной цифровой среде и ролевой структуре.

– Интеграция системы планирования предприятия с системой планирования холдинга в единой цифровой и методической среде реализована для одного пилотного предприятия на оперативном уровне.

– Подключение в единую цифровую и методическую среду всех предприятий холдинга на оперативном уровне.

– Повторение действий для внедрения новой функциональности системы планирования и встраивания систем планирования предприятий в сквозную цифровую систему планирования холдинга.

Аналогичные характеристики предприятий СТМ позволяют внедрять на всех предприятиях системы планирования без значительных модификаций.

Следующие процессы планирования реализованы в цифровой среде: планирование продаж и операций, планирование потребности в покупных ТМЦ, планирование кооперации, главное календарное планирование, планирование заданий по плану производства. Более 20 информационных систем реализуют отдельные функциональности планирования для отдельных предприятий холдинга в составе интегрированной сквозной системы планирования. Управление этой системой, состоящей из систем предприятий, осуществляется через центральную информационную систему, с которой связаны все другие системы. Роль центральной информационной системы решающая – в ней не только интегрируются все данные, но и содержатся правила конфигурации системы планирования, которые распространяются на остальные системы. Архитектура связей всех систем через центральную систему (звезда) позволяет значительно сократить количество интеграций в сравнении с архитектурой связи каждой системы с каждой системой (peer-to-peer). Решения о дальнейшем развитии систем принимаются на основании фактических достижений, технической и организационной готовности.

Центральная информационная система планирования СТМ построена на программном продукте 1С ERP. Использование преимущественно типовых возможностей 1С позволило легко обновить информационную базу с версии 2.4 до версии 2.5. Источниками оперативных данных для планирования служит центральная информационная система планирования 1С холдинга, а также системы входящих в СТМ предприятий, из которых данные поступают в центральную систему планирования посредством интеграции. На всех предприятиях для учетных функций используется 1С, интегрируемые системы на платформе 1С (1С БП, 1С УПП, 1С КА, 1С ERP) позволяют сформировать единые правила интеграции, сопоставления объектов информационных баз. В системе планирования СТМ 1С ERP ведутся основные данные для планирования, нормативно-справочная информация для планирования, аналитические и управленческие отчеты по планированию.

Цикл модернизации системы планирования в СТМ завершается оценкой достигнутых результатов и определением возможностей дальнейшего развития.

В СТМ планирование производства по номенклатуре в наибольшей степени отвечает требованиям цифровизации сквозной системы планирования в машиностроительном холдинге – охватывает в единой методической и цифровой среде все 15 предприятий и все смежные функции, позволяет реализовывать плановые решения от уровня холдинга до уровня производства в цехе и на рабочем центре со скоростью прохождения управленческого сигнала до четырех часов, включая моделирование и утверждение планов. Такая скорость возможна только при процессах, которые существуют в цифровой среде, на основе совместной датацентричной работы.

Несмотря на то, что планирование по сути приобрело характер сквозного, остался нерешенным ряд проблем для формирования методически завершенной целостной системы сквозного планирования:

– тактический уровень планирования не интегрирован со стратегическим уровнем планирования на регулярной основе;

– планирование операционной деятельности не взаимоувязано с планированием научно-технического развития предприятия;

– не достигнута гармонизация в управлении развитием планирования и учета в функциональных вертикалях операционной деятельности – снабжение (в том числе склад), экономика (в том числе бюджетирование и управленческая отчетность);

– техническое несовершенство ИТ-решений, особенно в части задач интеграции;

– не завершен переход к полной цифровой экосистеме планирования в рамках всего холдинга, когда все функции планирования и учета осуществляются в единой цифровой среде с минимальными трудозатратами сотрудников на рутинные операции.

Обсуждение

Изучение отечественного и зарубежного опыта позволило выявить тенденции информатизации планирования. Актуальность перехода планирования на следующую стадию информатизации – стадию цифровизации – подтверждается возможностью получения положительных эффектов; с другой стороны, цифровизация планирования сопряжена с необходимостью решения ряда методических проблем. Для решения этих проблем в машиностроительном холдинге предложено использовать системный подход к процессу изменения системы планирования в направлении цифровизации. Придать системе планирования свойства сквозной в процессе изменений позволяет декомпозиция системы планирования машиностроительного холдинга на единые элементы с точки зрения цифровизации с одновременным взглядом на холдинг как на совокупность функций и предприятий. Восприятие процесса изменения системы планирования как непрерывного и цикличного позволяет ее модернизировать эволюционным, экономным подходом.

Проведенное на материалах ТВЭЛ и СТМ исследование практического опыта применения сформулированных рекомендаций по цифровизации сквозной системы планирования в машиностроительном холдинге подтвердило полезность рекомендаций. После четырех этапов модернизации системы планирования (измерение и оценка результативности системы планирования, проектирование и реализация системы планирования) были изменены ее элементы с точки зрения цифровизации (процесс, данные, компетенция, показатель, инструментарий), получены положительные эффекты (внутренние и внешние по отношению к системе планирования). Такой четырехэтапный цикл был выполнен несколько раз в рамках непрерывного инкрементального процесса изменения (модернизации) системы планирования. В результате практического применения рекомендаций были выявлены проблемы и риски, которые не позволили в полной мере достичь построения цифровой сквозной системы планирования холдинга:

– необходимость выбора между системами планирования и их характеристиками, которые являются взаимоисключающими. В момент принятия ключевых решений, определяющих будущий облик системы планирования, она остается недостаточно изученной;

– кардинальное изменение системы планирования и, как следствие, системы управления в условиях нестабильной внутренней и внешней среды. Противоречие заключается в необходимости выделения ресурсов на перспективное развитие несмотря на то, что будущее остается неопределенным, а текущие задачи требуют немедленных решений;

– новые требования к компетенциям и готовность персонала к изменениям. Однако замена кадров невозможна, и важно удержать существующих сотрудников. Работники, привыкшие к одной системе, сталкиваются с необходимостью быстрой и качественной адаптации к новой;

– новизна подходов к планированию и необходимость их освоения менеджерами. Новые подходы к планированию существенно отличаются (на самом деле – дополняют и опережают) от традиционных, основанных на показателях рентабельности и прибыльности. Для успешной реализации изменений менеджеры должны глубоко понять и принять эти новые методы.

Эти проблемы и риски определили направления дальнейших исследований.

Заключение

Предложенные подходы цифровизации систем планирования, которые обладают признаками сквозного планирования, обеспечивают достижение положительных эффектов: в процессе цифровизации – сокращение стоимости и длительности цифровизации предприятия; в процессе планирования за счет его цифровизации – повышение скорости планирования, снижение трудоемкости планирования, создание новой функциональности планирования; для бизнеса – повышение уровня клиентского сервиса, снижение запасов, обеспечение возможности расширения ассортимента и объема выпуска. При этом необходимо дальнейшее развитие сквозных подходов к планированию с точки зрения обеспечения достижения значимых бизнес-эффектов от системы планирования в материальном и информационном потоке – главным образом за счет обеспечения поддержки системы планирования смежными бизнес-функциями. Особое внимание следует уделить системному развитию цифровизации планирования научно-технического развития [28]. Таким образом, в процесс изменения системы планирования дополнительно к предприятиям и элементам добавится еще одно направление – бизнес-функция, осуществляющая или обеспечивающая планирование.

Направления дальнейших исследований

Перспективные направления исследований – это изучение возможности создания саморазвивающейся цифровой системы планирования для усиления положительных эффектов от цифровизации планирования, обеспечения вовлечения предприятий и функций к совместному планированию в цифровой среде и совершенствованию сквозной цифровой системы планирования. Эволюционное развитие платформенных цифровых систем планирования позволит создать полностью сквозную систему планирования экономических и организационных форм объединений предприятий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Абашкин В.Л., Абдрахманова Г.И., Вишневский К.О., Гохберг Л.М. и др. (2024) *Цифровая экономика: 2024: краткий статистический сборник*, М.: ИСИЭЗ ВШЭ. DOI: https://doi.org/10.17323/978-5-7598-3011-5

2. Лола И.С., Дубкова А.Д., Семина В.В., Мануков А.Б (2024) *Тенденции инвестиционной активности промышленности в цифровое и технологическое развитие в 2023 г.*, М.: НИУ ВШЭ.

3. Струмилин С.Г. (1959) *Избранные произведения: в 5 т.*, Т. 5, М.: Наука.

4. Кондратьев Н.Д. (1993) *Избранные сочинения*, М.: Экономика.

5. Канторович Л.В., Немчинов В.С., Новожилов В.В. (1965) Лауреаты Ленинской премии 1965 г. *Экономика и математические методы*, 1 (3), 463–464.

6. Базаров В.К. (1924) *К методологии перспективного планирования*, М.: Госплан СССР.

7. Гастев А.К. (1972) *Как надо работать. Практическое введение в науку организации труда*, 2-е изд., М.: Экономика.

8. Глушков В.М. (1975) *Макроэкономические модели и принципы построения ОГАС*, М.: Статистика.

9. Соболев С.Л., Китов А.И., Ляпунов А.А. (1955) Основные черты кибернетики. *Вопросы философии*, 4.

10. Родов А.С., Крутянский Д.И. (1964) *План, поток, ритм*, Ростов н/Д: Ростовское книжное издательство.

11. Форрестер Дж. (1971) *Основы кибернетики предприятия* (*Индустриальная динамика*), общ. ред. и предисл. Д.М. Гвишиани. М.: Прогресс.

12. Orlicky J. (1975) *Material Requirements Planning: The New Way of Life in Production and Inventory Management*, New York: McGrow-Hill.

13. Wight O. (1981) *Manufacturing Resource Planning: MRP II: Unlocking America's Productivity Potential*, Boston: CBI Publishing Co.

14. Rahiminezhad Galankashi M., Helmi S.A., Abdul Rahim A.R., Rafiei F.M. (2019) Agility assessment in manufacturing companies. *Benchmarking: An International Journal*, 26 (7), 2081–2104. DOI: https://doi.org/10.1108/BIJ-10-2018-0328

15. Deepu T.S., Ravi V. (2021) A conceptual framework for supply chain digitalization using integrated systems model approach and DIKW hierarchy. *Intelligent Systems with Applications*, 10–11, art. no. 200048. DOI: https://doi.org/10.1016/j.iswa.2021.200048

16. Liu K.P., Chiu W., Chu J., Zheng L.J. (2022) The Impact of Digitalization on Supply Chain Integration and Performance: A Comparison Between Large Enterprises and SMEs. *Journal of Global Information Management*, 30 (1), 1–20. DOI: https://doi.org/10.4018/JGIM.311450

17. Lou S., Wang J., Xia J. (2022) Understanding the boundary decision of digital platform enterprises. *Industrial Management & Data Systems*, 122 (1), 235–250. DOI: https://doi.org/10.1108/IMDS-12-2020-0720

18. Aamer A., Sahara C.R., Al-Awlaqi M.A. (2023) Digitalization of the supply chain: transformation factors. *Journal of Science and Technology Policy Management*, 14 (4), 713–733. DOI: https://doi.org/10.1108/JSTPM-01-2021-0001

19. Culotta C., Blome C., Henke M. (2024) Theories of digital platforms for supply chain management: a systematic literature review. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 54 (5), 449–475. DOI: https://doi.org/10.1108/IJPDLM-01-2023-0016

20. Kalaboukas K., Kiritsis D., Arampatzis G. (2023) Governance framework for autonomous and cognitive digital twins in agile supply chains. *Computers in Industry*, 146, art. no. 103857. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compind.2023.103857

21. Ivanov D., Dolgui A., Sokolov B. (2022) Cloud supply chain: Integrating Industry 4.0 and digital platforms in the "Supply Chain-as-a-Service". *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 160, art. no. 102676. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102676

22. Гаврилов Д.А. (2005) *Управление производством на базе стандарта MRP2*, 2-е изд., СПб.: Питер.

23. Солодовников В.В. (2017) *Методология интегрированного планирования цепей поставок промышленных предприятий* (*на примере комплексов черной металлургии*), монография, НИУ ВШЭ, М.: ИТКОР.

24. Карлик А.Е., Белоусова Л.С., Мигунова Е.А. (2013) Развитие информационной поддержки планирования на промышленном предприятии. *Экономическое возрождение России*, 4 (38), 74–80.

25. Смирнова Е.В. (2011) Целевая ориентация модификации систем планирования промышленных предприятий в условиях рыночной экономики. *Вестник ОГУ*, 8 (127), 122–129.

26. Ермакова Ж.А., Холодилина Ю.Е. (2022) Методологические аспекты управления кластером как социально-экономической системой региона. *Вестник Самарского муниципального института управления*, 3, 15–26.

27. Самохвалов И.О., Рудаков А.А. (2023) Мероприятия по минимизации негативных последствий импортозамещения при реализации проектов по созданию высокоскоростных магистралей. *π-Economy*, 16 (4), 108–120. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.16407

28. Qin Y., Shen Y. (2024) Can Process Digitization Improve Firm Innovation Performance? Process Digitization as Job Resources and Demands. *Sustainability*, 16 (13), art. no. 5295. DOI: https://doi.org/10.3390/su16135295

29. Wight O. (2017) *The Oliver Wight Class A Standard for Business Excellence*, 7th ed., NJ: John Wiley & Sons.

30. Глазьев С.Ю. (2018) Информационно-цифровая революция. *Евразийская интеграция: экономика, право, политика*, 1 (23), 70–83.

31. Steyn J. (2016) *OTC Project Insights – Volume 1*, Free State, South Africa: Owner Team Consultation (Pty) Ltd.

REFERENCES

1. Abashkin V.L., Abdrakhmanova G.I., Vishnevskii K.O., Gokhberg L.M. et al. (2024) *Tsifrovaia ekonomika: 2024: kratkii statisticheskii sbornik* [*Digital Economy: 2024: A Brief Statistical Digest*], Moscow: ISIEZ VSHE. DOI: https://doi.org/10.17323/978-5-7598-3011-5

2. Lola I.S., Dubkova A.D., Semina V.V., Manukov A.B (2024) *Tendentsii investitsionnoi aktivnosti promyshlennosti v tsifrovoe i tekhnologicheskoe razvitie v 2023 g.* [*Trends in industrial investment activity in digital and technological development in 2023*], Moscow: NIU VSHE.

3. Strumilin S.G. (1959) *Izbrannye proizvedeniia* [*Selected works*], vol. 5, Moscow: Nauka.

4. Kondrat'ev N.D. (1993) *Izbrannye sochineniia* [*Selected works*], Moscow: Ekonomika.

5. Kantorovich L.V., Nemchinov V.S., Novozhilov V.V. (1965) *Laureaty Leninskoi premii 1965 g.* [*Lenin Prize Laureates 1965*], Economics and Mathematical Methods, 1 (3), 463–464.

6. Bazarov V.K. (1924) *K metodologii perspektivnogo planirovaniia* [*On the methodology of long-term planning*], Moscow: Gosplan SSSR.

7. Gastev A.K. (1972) *Kak nado rabotat'. Prakticheskoe vvedenie v nauku organizatsii truda* [*How to Work. A Practical Introduction to the Science of Labor Organization*], 2nd ed., Moscow: Ekonomika.

8. Glushkov V.M. (1975) *Makroekonomicheskie modeli i printsipy postroeniia OGAS* [*Macroeconomic models and principles of construction of OGAS*], Moscow: Statistika.

9. Sobolev S.L., Kitov A.I., Liapunov A.A. (1955) Osnovnye cherty kibernetiki [The main features of cybernetics]. *Voprosy filosofii*, 4.

10. Rodov A.S., Krutianskii D.I. (1964) *Plan, potok, ritm* [*Plan, flow, rhythm*]. Rostov-na-Donu: Rostovskoe knizhnoe izdatel'stvo.

11. Forrester J.W. (1961) *Industrial dynamics*, Waltham, MA: Pegasus Communications.

12. Orlicky J. (1975) *Material Requirements Planning: The New Way of Life in Production and Inventory Management*, New York: McGrow-Hill.

13. Wight O. (1981) *Manufacturing Resource Planning: MRP II: Unlocking America's Productivity Potential*, Boston: CBI Publishing Co.

14. Rahiminezhad Galankashi M., Helmi S.A., Abdul Rahim A.R., Rafiei F.M. (2019) Agility assessment in manufacturing companies. *Benchmarking: An International Journal*, 26 (7), 2081–2104. DOI: https://doi.org/10.1108/BIJ-10-2018-0328

15. Deepu T.S., Ravi V. (2021) A conceptual framework for supply chain digitalization using integrated systems model approach and DIKW hierarchy. *Intelligent Systems with Applications*, 10–11, art. no. 200048. DOI: https://doi.org/10.1016/j.iswa.2021.200048

16. Liu K.P., Chiu W., Chu J., Zheng L.J. (2022) The Impact of Digitalization on Supply Chain Integration and Performance: A Comparison Between Large Enterprises and SMEs. *Journal of Global Information Management*, 30 (1), 1–20. DOI: https://doi.org/10.4018/JGIM.311450

17. Lou S., Wang J., Xia J. (2022) Understanding the boundary decision of digital platform enterprises. *Industrial Management & Data Systems*, 122 (1), 235–250. DOI: https://doi.org/10.1108/IMDS-12-2020-0720

18. Aamer A., Sahara C.R., Al-Awlaqi M.A. (2023) Digitalization of the supply chain: transformation factors. *Journal of Science and Technology Policy Management*, 14 (4), 713–733. DOI: https://doi.org/10.1108/JSTPM-01-2021-0001

19. Culotta C., Blome C., Henke M. (2024) Theories of digital platforms for supply chain management: a systematic literature review. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 54 (5), 449–475. DOI: https://doi.org/10.1108/IJPDLM-01-2023-0016

20. Kalaboukas K., Kiritsis D., Arampatzis G. (2023) Governance framework for autonomous and cognitive digital twins in agile supply chains. *Computers in Industry*, 146, art. no. 103857. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compind.2023.103857

21. Ivanov D., Dolgui A., Sokolov B. (2022) Cloud supply chain: Integrating Industry 4.0 and digital platforms in the "Supply Chain-as-a-Service". *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 160, art. no. 102676. DOI: https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102676

22. Gavrilov D.A. (2005) *Upravlenie proizvodstvom na baze standarta MRP2* [*Production management based on the MRP2 standard*], 2nd ed., St. Petersburg: Piter.

23. Solodovnikov V.V. (2017) *Metodologiia integrirovannogo planirovaniia tsepei postavok promyshlennykh predpriiatii* (*na primere kompleksov chernoi metallurgii*) [*Methodology of integrated planning of supply chains of industrial enterprises* (*using ferrous metallurgy complexes as an example*)], monograph, NIU VSHE, M.: ITKOR.

24. Karlik A.E., Evchenko A.V. (2013) Methodological foundations of modern predictive and analytical research: about the complex social and economic indicators of regional development. *Economic Revival of Russia*, 4 (38), 74–80.

25. Smirnova E.V. (2011) The purposeful orientation of the modification of the systems of planning industrial enterprises under the conditions of the market economy. *Vestnik OSU*, 8 (127), 122–129.

26. Ermakova Zh.A., Kholodilina Iu.E. (2022) Metodologicheskie aspekty upravleniia klasterom kak sotsial'no-ekonomicheskoi sistemoi regiona [Methodological aspects of cluster management as a socio-economic system of the region]. *Vestnik Samarskogo munitsipal'nogo instituta upravleniia* [*Bulletin of the Samara Municipal Institute of Management*], 3, 15–26.

27. Samokhvalov I.O., Rudakov A.A. (2023) Measures minimizing the negative impact of import substitution in the implementation of high-speed railway projects. *π-Economy*, 16 (4), 108–120. DOI: https://doi.org/10.18721/JE.16407

28. Qin Y., Shen Y. (2024) Can Process Digitization Improve Firm Innovation Performance? Process Digitization as Job Resources and Demands. *Sustainability*, 16 (13), art. no. 5295. DOI: https://doi.org/10.3390/su16135295

29. Wight O. (2017) *The Oliver Wight Class A Standard for Business Excellence*, 7th ed., NJ: John Wiley & Sons.

30. Glaz'ev S.Iu. (2018) Informatsionno-tsifrovaia revoliutsiia [Information and digital revolution]. *EURASIAN INTEGRATION: economics, law, politics*, 1 (23), 70–83.

31. Steyn J. (2016) *OTC Project Insights – Volume 1*, Free State, South Africa: Owner Team Consultation (Pty) Ltd.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT AUTHORS

ФОМИН Семён Григорьевич
E-mail: semafom@gmail.com
Semyon G. FOMIN
E-mail: semafom@gmail.com

ЕРМАКОВА Жанна Анатольевна
E-mail: 56ermakova@mail.ru
Zhanna A. ERMAKOVA
E-mail: 56ermakova@mail.ru
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4761-6200

Поступила: 26.08.2024; Одобрена: 30.09.2024; Принята: 30.09.2024.
Submitted: 26.08.2024; Approved: 30.09.2024; Accepted: 30.09.2024.