ЭКОНОМИКА. ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

DOI: 10.24412/2077-8481-2025-2-109-118

УДК 338.47

Т. В. ПУЗАНОВА, *канд. техн. наук*, *доц.*
В. А. ШИРОЧЕНКО, *канд. техн. наук*, *доц.*
Белорусско-Российский университет (Могилев, Беларусь)

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТА ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Аннотация

Сформулированы и проанализированы этапы проектирования организации производства с учетом возможных их особенностей для промышленного предприятия. Обоснованы важность каждого этапа проектирования, последовательность их выполнения во времени, применяемые инструментарий и математические модели, ожидаемые результаты выполнения каждого этапа, формируемые при этом информационные потоки, необходимость обмена соответствующей информацией между этапами и возможность ее корректировки.

Ключевые слова:

эффективность, оптимизация, производственная программа, производственная мощность, загрузка оборудования, проектирование организации производства.

Для цитирования:

Пузанова, Т. В. Особенности разработки проекта организации производства промышленного предприятия / Т. В. Пузанова, В. А. Широченко // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2025. – № 2 (87). – С. 109–118.

Введение

Задача постоянного повышения эффективности деятельности современного промышленного предприятия является основной как для его высшего руководства, так и для производственного коллектива. Сложность такой задачи обусловлена неоднозначным влиянием на результативность деятельности предприятия множества внешних и внутренних факторов, качеством принимаемых специалистами предприятия плановых и управленческих решений, а также уровнем применяемого для обоснования этих решений инструментария. При этом данная задача включает ряд этапов, исследования по которым могут проводиться многократно как последовательные шаги, так и частично запараллеленные во времени процессы.

Основная часть

Обоснование путей повышения эффективности деятельности производственного предприятия требует разработки возможных альтернативных направлений и экономической оценки в виде соотнесения ожидаемого эффекта и затрат на его достижение. Альтернативность возможных вариантов связана с оптимизацией использования различных ограниченных ресурсов предприя-

© Пузанова Т. В., Широченко В. А., 2025

тия (производственных фондов, материальных, трудовых, финансовых ресурсов) с целью производства востребованной на рынке продукции, работ, услуг и получением соответствующих различных уровней эффекта и затрат. Таким образом, оценка рынка производимого предприятием продукта является *первым этапом*, основанным на маркетинговых исследованиях его различных аспектов: специфики и параметров продукта, характеристики его существующих и потенциальных потребителей, значимости продукта для региона, уровня конкуренции на данном рынке, его характера и тенденций развития и т. п. [1]. В результате будет определен рыночный спрос на данный продукт и оценена вероятная доля рынка продукта для предприятия, которая является ориентиром при планировании объемов производства данного продукта.

Очевидно, что разрабатываемая в рамках текущего планирования производственная программа предприятия должна быть, с одной стороны, обоснована спросом на рынке производимого предприятием товара, а с другой стороны, имеющимися производственными мощностями. И то и другое является для предприятия ограничением в процедуре обоснования плановых показателей объемов производства продукции, работ, услуг. При этом ограничение уровня производственной мощности при наличии достаточного спроса на товар может быть скорректировано за счет ряда организационно-технических решений, которые, в свою очередь, также требуют экономического обоснования их эффективности.

На этом этапе решение задачи обеспечения высокой эффективности предприятия может осуществляться на достаточно простой математической модели [2]

$$F(\bar{X}) = \sum_{i=1}^{n} c_i x_i \to \max, \quad i = \overline{1,n}; \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{n} a_{i,j} x_i \le b_j, \quad i = \overline{1,n}; \quad j = \overline{1,m}; \quad (2)$$

$$x_i \ge 0 \quad \text{и} \quad x_i - \text{целые}, \quad (3)$$

где x_i – объемы продукции по номенклатурным группам; n – количество номенклатурных групп; b_j – имеющиеся ресурсы; m – количество используемых ресурсов; $a_{i,j}$ – коэффициенты, отражающие степень использования j-го ресурса при производстве i-й продукции; c_i – рыночные цены продукции; $F(\bar{X})$ – целевая функция – показатель результативности деятельности предприятия.

В качестве ресурсов в ограничениях будут присутствовать средства производства, а также в модели должны быть учтены ограничения по спросу на различные виды продукции, выявленные при маркетинговых исследованиях.

Таким образом, на *втором этапе* возникает актуальная задача не только корректной оценки производственной мощности предприятия, но и выбора направлений и путей ее повышения для производства востребованного на рынке товара.

Для анализа влияния ресурсной базы предприятия на его эффективность данная модель может быть использована путем приведения ее к двойственному виду [3]. Решением двойственной задачи будут значения частных производных целевой функции по ресурсам $y_j = \dfrac{\partial F(\bar{X})}{b_j}$, т. е. влияние используемых ресурсов на показатель результативности деятельности предприятия. Анализ их влияния позволит оптимизировать ресурсную базу предприятия и понимать ее влияние на эффективность предприятия.

Для предприятий массового и крупносерийного типов производства для оценки производственной мощности применяется методика определения ведущего звена последовательно от низ-

шего уровня иерархии производственной структуры (группы однородного производственного оборудования) к высшему уровню (сборочный цех или главный сборочный конвейер предприятия машиностроения) [4]. Это позволяет с достаточно высокой степенью точности определить производственную мощность предприятия по характерной для предприятия массового производства узкой номенклатуре производимой продукции отдельно по каждой номенклатурной группе с применением натуральных измерителей. Суммарная величина производственной мощности может быть определена только с применением стоимостных измерителей, но в этом случае показатель теряет свою информативность как при обосновании производственной программы, так и при оценке динамики изменения производственной мощности за ряд периодов.

Однако развитие производства в существующем в настоящее время технологическом укладе привело к постепенному переходу в экономике от массового производства к серийному, основанному на стремлении учесть все желаемые характеристики и параметры продукта в заказах потребителей. Сложность решения задачи оценки производственной мощности для предприятий серийного типа производства достаточно высока. В этом случае номенклатура продукции представлена несколькими десятками наименований. При этом каждая группа должна быть востребована на рынке и может быть стратегически важной для данного региона. Как правило, производственная мощность определяется на основе выбора базового вида продукта и приведения остальных видов к базовому с применением коэффициентов приведения трудоемкости. При этом оценку динамики изменения производственной мощности такого предприятия можно получить только при обеспечении сопоставимости этого показателя за ряд периодов, т. е. при условии использования одного и того же вида базового продукта. Это возможно при относительно устойчивой номенклатуре производимой продукции. С другой стороны, в рамках определенной таким образом производственной мощности определение плановых объемов производства требуется осуществлять по номенклатурным группам продукции, и задача оказывается многовариантной. Решение такой задачи планирования требует постановки оптимизационной задачи с необходимостью корректного выбора критерия оценки, в качестве которого может быть один из группы показателей эффективности деятельности предприятия.

В качестве критерия могут применяться такие показатели, как объемы производства и продаж в натуральном выражении, выручка и прибыль от реализации, рентабельность продаж, показатели эффективности использования ограниченных ресурсов предприятия, которые характеризуют эффективность его деятельности. Очевидно, что в этом случае можно ожидать в качестве решения планирование максимального объема наиболее рентабельных видов продукции, а распределение оставшейся части производственной мощности произойдет на менее рентабельные, что не учитывает специфику спроса товара [5]. Кроме того, задание плановых цен ограничивает предприятие в вопросах, связанных с ценообразованием и ценовой политикой, которые в текущей деятельности могут приводить к необходимости изменения фактических цен.

Безусловно, все показатели эффективности взаимосвязаны, но для предприятий с относительно высоким коэффициентом использования производственной мощности актуальным является вариант производственной программы, обеспечивающей производство максимальных объемов стратегически важных видов продукции. В случае серийного или мелкосерийного типов производства в течение года в разные календарные периоды времени изменяются и

номенклатура производимой продукции, и объемы ее выпуска. В этом случае загрузка оборудования также изменяется, а следовательно, возникает проблема ее оптимизации в течение года для наиболее эффективного использования имеющихся ограниченных производственных мощностей.

Построение математических моделей, предназначенных для решения задач оптимизации параметров производства, – весьма трудоемкий процесс, требующий высочайшей квалификации специалистов в области математического моделирования. В связи с этим чаще всего предприятие собственными силами не в состоянии решать такие задачи. Однако при системном подходе к вопросам автоматизации производства можно построить специальную систему автоматизированного проектирования, которая предназначена для формирования математических моделей и позволяет специалистам использовать их для решения задач в определенной предметной области.

Математическая модель, используемая для оптимизации загрузки оборудования, может быть легко получена на основе данных конструкторско-технологической документации производимых на предприятии изделий. В частности, могут быть использованы комплектовочные ведомости на изготавливаемые изделия, в которых представлены иерархическая структура изделия и его полный состав, а также технологические карты производства деталей и сборочных единиц, входящих в эти изделия. На рис. 1 приведен пример агрегированной схемы для сложного изделия, под которым в производстве понимают изделие, состоящее из деталей (простых изделий) и сборочных единиц. Схема на простейшем примере иллюстрирует иерархическую структуру сложного изделия и технологические процессы изготовления составляющих его деталей и сборочных единиц.

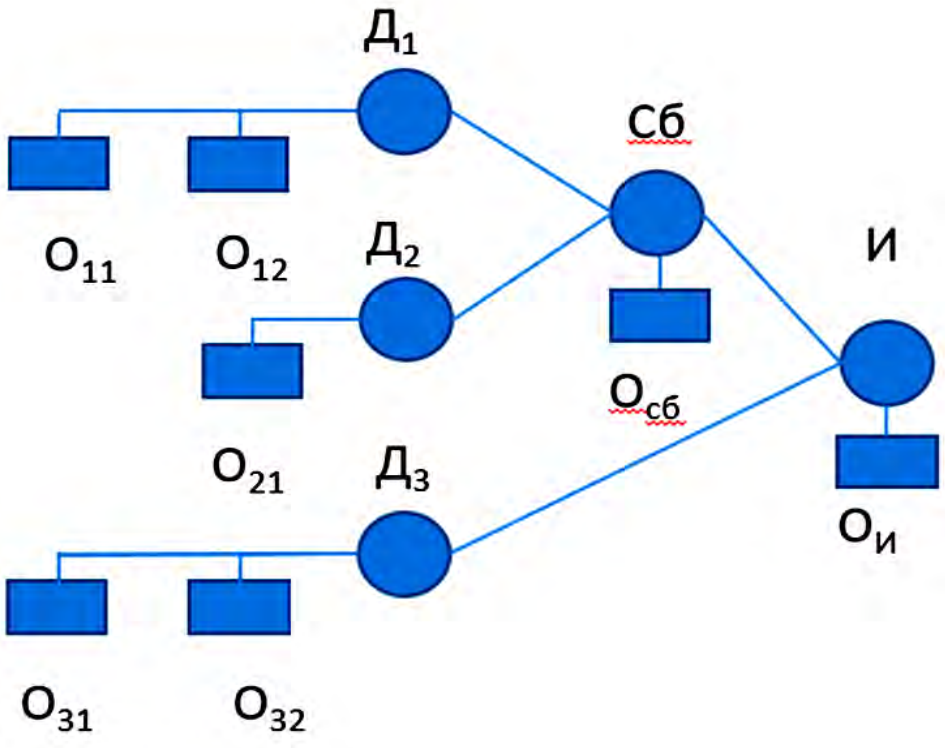

Рис. 1. Пример схемы конструкция-технология сложного изделия

На схеме кружками отображены отдельные детали ($Д_1$, $Д_2$ и $Д_3$) и сборочные единицы (Сб и И), а прямоугольниками – технологические операции, обеспечивающие их обработку ($О_{12}$, $О_{12}$, … , $О_{32}$) или сборку ($О_{сб}$, $О_И$).

Необходимая экономическая информация для построения математической модели для первого и второго этапов проектирования организации производства, о соответствующих затратах в стоимостном выражении может быть получена из базы данных программной системы 1С-бухгалтерия, которая широко применяется на промышленных предприятиях. Использование указанного информационного обеспечения возможно обеспечить в автоматическом режиме без привлечения специалистов в области математики. Таким образом, система автоматизированного проектирования организации производства должна содержать базу данных с описанием конструкции изделий и технологии их изготовления, некоторых экономических показателей, которая необходима для функционирования системы проектирования и решения задач анализа использования производственных мощностей предприятия и их оптимизации. Такой подход позволяет формализовать получение требуемой математической модели.

При решении таких задач могут быть использованы различные варианты целей оптимизации и критериев оценки, например:

– максимизация загрузки оборудования при необходимости производства заданного объема продукции за определенный плановый период времени;

– максимизация возможного объема производства продукции в заданный плановый период времени;

– минимизация объемов комплектующих деталей, получаемых по кооперации, с целью производства требуемого объема продукции в заданный плановый период.

Математическая модель в этом случае становится более сложной и будет иметь следующий вид:

$$\sum_{j=1}^{m} t_{ij} x_{ij} \le \Phi_j \text{ при } i = \overline{1,n}; \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ij} = N_k n_k \text{ при } i = \overline{1,n}; \quad (5)$$

$$x_{ij} \text{ – целые;} \quad (6)$$

$$F(x_{ij}) = \sum_{k=1}^{K} c_k N_k \to \max, \quad (7)$$

где n – количество технологических операций; m – количество единиц оборудования; t_{ij} – длительность i-й операции, выполняемой на j-м оборудовании; $Ф_j$ – фонд времени j-го оборудования; k – номер номенклатурной группы изделий; N_k – количество произведенных изделий k-го вида; x_{ij} – количество выполняемых i-х операций, закрепленных за j-м оборудованием; $F(x_{ij})$ – аддитивная целевая функция; c_k – коэффициенты целевой функции.

Первый из вышеуказанных вариантов оптимизации при повышении загрузки, а следовательно, и производительности отдельных видов оборудования, как правило, не позволяет повысить производительность совокупного производственного процесса [6]. Учитывая особенность планирования в условиях серийного производства, в качестве критерия оценки во втором варианте оптимизационной задачи следует применять сумму приведенных объемов производства по номенклатурным группам. Такой подход при решении данной задачи, как задачи линейного программирования, позволяет не только обеспечить максимизацию использования ограниченной производственной мощности, но и в наибольшей степени учитывать спрос на различные виды номенклатурных групп продукта с различными экономическими показателями.

Для эффективного применения

оборудования и рабочей силы отдельные структурные производственные подразделения предприятия могут иметь свои режимы работы, отличные от режимов работы предприятия в целом. Для анализа временных ресурсов, т. е. фондов времени работы различных видов оборудования, можно также использовать двойственную задачу. Однако для ее построения необходимо применять механизмы агрегации и приведения времени работы отдельного оборудования в коэффициенты его использования по номенклатурным группам производимой продукции.

Одним из направлений повышения производственной мощности предприятия может быть размещение производства отдельных частей производимого продукта на других предприятиях. При этом в математической модели для решения третьего варианта оптимизационной задачи необходимо обеспечить выбор из определенной группы деталей, входящих в состав продукта, тех, которые могут быть отданы в производство по кооперации на другие предприятия. Использование этих деталей в качестве покупных комплектующих изделий в производстве продукта позволяет частично высвободить производственные мощности с целью роста объема производства отдельных видов продукции, а следовательно, и повышения производственной мощности предприятия. Однако принятие такого организационного решения, безусловно, требует экономического обоснования. В случае же положительного решения может быть получен вариант производственной программы на очередной плановый период.

Далее наступает *третий этап*, связанный с обеспечением требуемого уровня эффективности производства и использования производственных мощностей, основанный на выборе оптимального варианта организации основного производственного процесса для обеспечения выполнения производственной программы с наименьшими затратами. Выбор организационной формы осуществляется на основе оценки коэффициента загрузки оборудования и возможности синхронизации операций производственного процесса.

Для решения задач организации производственного процесса с минимальными пролёживанием предметов труда и простаиванием станочного парка вышеописанный инструментарий недостаточен, т. к. он рассматривает задачу только в статике и не учитывает последовательности выполнения технологических операций, закрепленных за тем или иным оборудованием. Данные последовательности имеют ключевую роль в организации процесса производства и могут существенно снизить степень загрузки имеющихся мощностей производственных подразделений предприятия.

Анализ последовательности технологических операций удобно осуществлять на основе диаграммы Ганта, которая путем привязки к оси времени длительности операций позволяет определить все нестыковки во времени при выполнении операций технологического процесса и работе оборудования и уменьшить их путем изменения последовательности. На рис. 2 приведена диаграмма Ганта, построенная по данным схемы сложного изделия (см. рис. 1).

На диаграмме отражены длительности технологических операций, представленных в виде заштрихованных прямоугольников, и последовательность их выполнения во времени, наличие параллельно выполняемых операций для независимых процессов обработки предметов труда. На ее основе можно определить длительность процесса производства сложного изделия и критический путь, т. е. последовательность технологических операций различных независимых производственных процессов в виде заштрихованных прямоугольников, которые протекают во времени без перерывов и являются непо-

средственно влияющими на длительность производственного цикла изделия. Наличие незаштрихованных прямоугольников отражают простои оборудования в соответствующих процессах производства деталей.

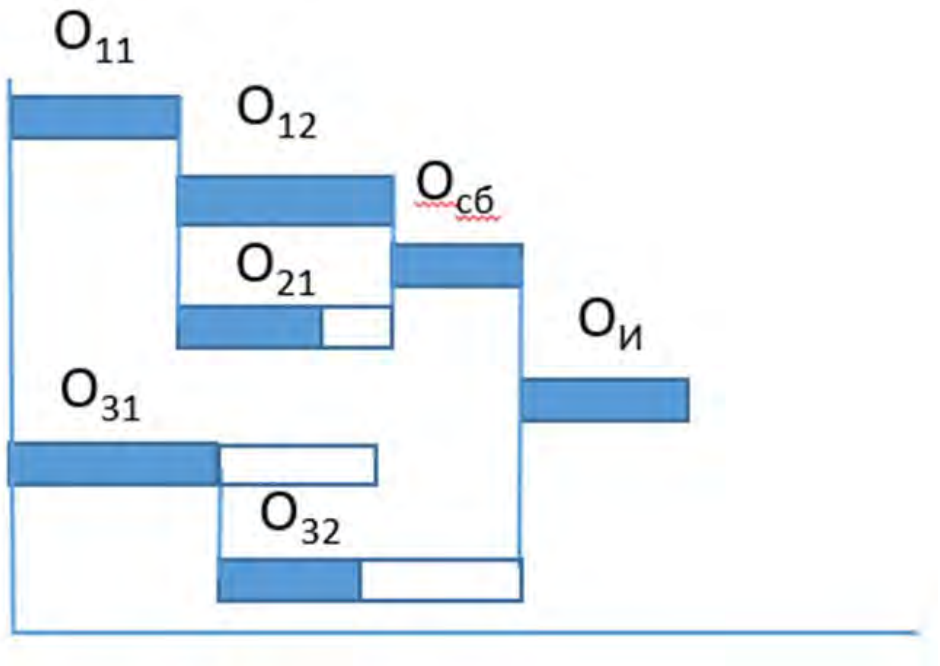

Рис. 2. Диаграмма Ганта, построенная по схеме конструкция-технология сложного изделия

Нахождение наиболее эффективных вариантов последовательностей вручную – достаточно трудоемкий процесс даже при малой размерности задачи. На реальных предприятиях, где осуществляется серийное производство широкой номенклатуры изделий и план производства ежемесячно меняется, такой процесс крайне сложен даже для опытного специалиста в организации производства.

Существующие математические методы для решения задач оптимизации на моделях с применением теории графов и сетевых моделях, несмотря на их высокую размерность, позволяют это сделать. Для построения наиболее эффективных цепочек технологических операций при использовании имеющегося станочного парка можно применять модели, формируемые для второго этапа при оптимизации загрузки оборудования без привлечения дополнительной информации. Все вариативные моменты построения суточных плановых заданий для специалистов соответствующей предметной области будут достаточно наглядны и понятны.

Проектирование варианта организации производства требует расчета календарно-плановых нормативов, положенных в основу организационной формы [7]. Возможность реализации разработанного проекта и оптимизация его параметров приводит к необходимости решения соответствующих задач. В этом случае может применяться имитационное моделирование, которое позволяет получить информацию о состоянии всех присутствующих в модели объектов (единиц оборудования, транспорта, заделов, рабочих и т. п.) в любой момент моделируемого интервала времени. Это позволяет не только определить возможность выполнения сменного задания, но и оценить в динамике эффективность

совмещения операций основными и вспомогательными рабочими, возникающие узкие места в производственном процессе, возможные отклонения заделов от плановых нормативов. На рис. 3 приведена имитационная модель в виде схемы производства рассмотренного в качестве примера сложного изделия.

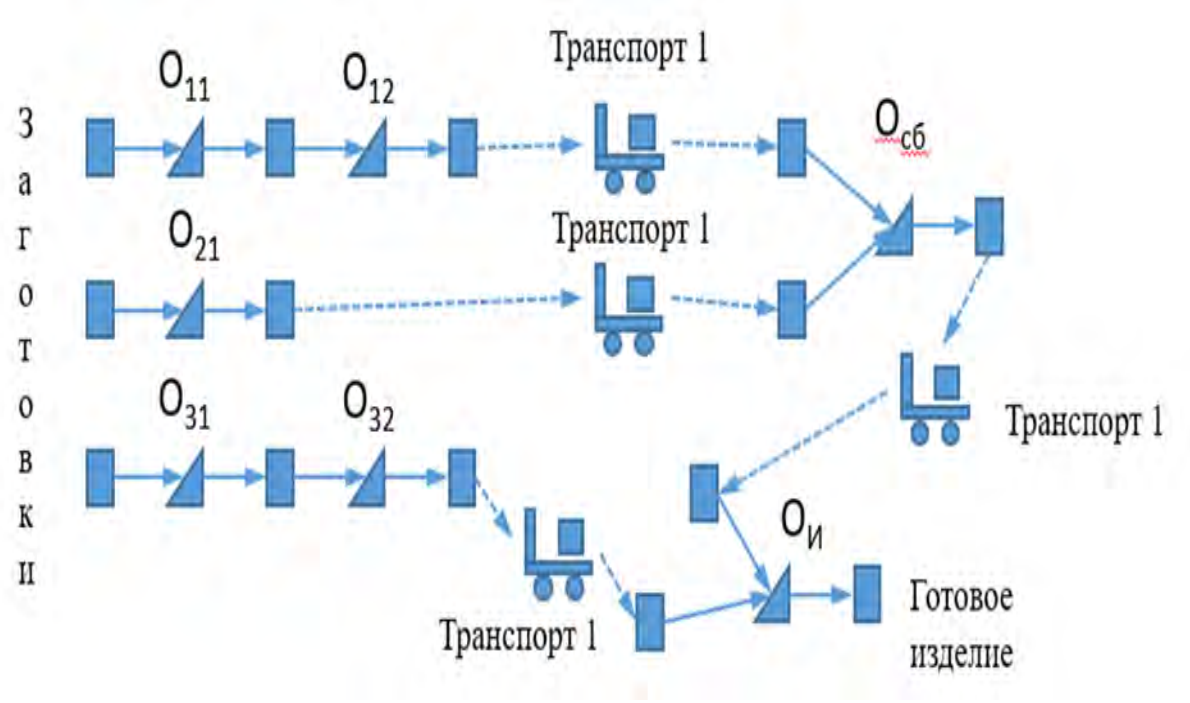

Рис. 3. Схема имитационной модели процесса производства сложного изделия

На схеме прямоугольниками показаны межоперационные заделы, треугольниками – станочное оборудование, сплошными линиями со стрелками – последовательность передачи обрабатываемых деталей в соответствии с технологическим маршрутом, пунктирными линиями со стрелками – транспортировка деталей к месту сборки.

Построение таких моделей требует специальной подготовки даже для специалистов из области математического моделирования. Однако после построения технологических цепочек имитационные модели можно также получать в автоматизированном режиме, дополнительно используя информацию о расположении используемого оборудования на производственных площадях. На таких моделях может быть проведен анализ эффективности производственных процессов и управления логистическими потоками. Полученные результаты позволяют внести своевременные корректировки распределения ограниченных ресурсов в выбранный вариант организации производственного процесса.

Дальнейшее совершенствование варианта организации производства на *четвертом этапе* связано с оптимизацией вспомогательных производственных процессов, таких как транспортировка материальных ресурсов, обслуживание производственных процессов, выполнение операций контроля качества производимой продукции. Это требует дополнения созданной на предыдущем этапе имитационной модели соответствующими вспомогательными элементами и их параметрами, связями между основными и вспомогательными элементами. Так, при учете в имитационной модели транспортных операций можно определять оптимальные марш-

руты межоперационного и внутрицехового транспорта и минимизировать перерывы в производственном процессе, вызванные транспортировкой предметов труда, что позволит существенно сократить производственный цикл и повысить производительность совокупного процесса производства.

Выводы

Таким образом, рассмотренный подход к проектированию варианта организации производства, обеспечивающего эффективное функционирование промышленного предприятия, позволяет сделать следующие выводы.

1. Поскольку проектирование организации производства требует системного подхода и представляет собой многоэтапный процесс, в котором на каждом этапе требуется формулировка соответствующих целей и задач, то возникает проблема выполнения декомпозиции целей и задач предыдущего этапа для конкретизации постановки задач следующего этапа проектирования. При этом последующий этап предназначен для пошагового уточнения параметров, полученных на предыдущем этапе, и получения дополнительных параметров, конкретизирующих проектируемый объект. Проблема корректной постановки задач требует от проектировщика высокой квалификации и является ответственным шагом, результативность которого напрямую определяет возможность эффективного выполнения текущего этапа проектирования. Поэтому при создании специальной системы автоматизированного проектирования организации производства необходимо процесс декомпозиции формализовать и осуществлять автоматизированно, что позволит повысить его эффективность.

2. На каждом этапе проектирования применяются различные инструментарий и математические модели, что дает возможность постепенно переходить от простых моделей, описывающих функционирование проектируемого объекта в статике, к более сложным, позволяющим моделировать его динамику, выявлять возможные отклонения от проектируемых параметров (календарно-плановых нормативов) и обосновывать необходимость определенных организационно-технических мероприятий.

3. Применение различных инструментария и математических моделей требует их преемственности на всех этапах проектирования и возможности автоматизации их построения. Согласованность результатов достигается на основе формирования выходного информационного потока на предыдущем этапе проектирования, который должен быть достаточно информативным входным потоком для последующего этапа, позволяющим определить структуру необходимой на этом этапе математической модели с соответствующим множеством параметров. Для обеспечения такого согласования нужны специальные алгоритмы преобразования выходных информационных потоков в требуемый вид входного потока последующего этапа проектирования.

Созданная таким образом система проектирования может быть использована специалистами в области производственного менеджмента для проведения полного системного анализа производства без привлечения специалистов в области математического моделирования. В этом случае при переходе от одного уровня математической модели к другому достаточно знаний из предметной области и четкого представления задач проектирования.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Пузанова, Т. В.** Автоматизация процедур производственного менеджмента / Т. В. Пузанова, В. А. Широченко // Актуальные проблемы социально-гуманитарных исследований в экономике и управ-

лении: материалы VI науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Брянск: БГТУ, 2020. – С. 155–162.

2. **Новиков, А. И.** Исследование операций в экономике: учебник для бакалавров / А. И. Новиков. – 2-е изд. – М.: Дашков и К°, 2020. – 352 с.

3. Исследование операций и методы оптимизации: учеб. пособие: в 2 ч. / Сост. А. А. Мицель. – Томск: ТУСУР, 2019. – Ч. 1: Лекционный курс. – 167 с.

4. **Бухалков, М. И.** Производственный менеджмент: организация производства : учебник / М. И. Бухалков. – 2-е изд. – М. : ИНФРА-М, 2020. – 395 с.

5. **Пузанова, Т. В.** Обоснование оперативно-производственного плана на основе методов параметрического синтеза / Т. В. Пузанова, В. А. Широченко // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2019. – № 3 (64). – С. 147–155.

6. **Фатхутдинов, Р. А.** Производственный менеджмент : учебник / Р. А. Фатхутдинов. – 4-е изд. – СПб.: Питер, 2003. – 491 с.

7. **Касперович, С. А.** Организация производства и управление предприятием: учеб. пособие для студентов техн. специальностей / С. А. Касперович, Г. О. Коновальчик. − Минск: БГТУ, 2012. − 344 с.

Статья сдана в редакцию 14 февраля 2025 года

Контакты
puzanovat@tut.by (Пузанова Татьяна Владимировна);
shirsvet@tut.by (Широченко Виктор Александрович).

T. V. PUZANOVA*, *V. A. SHIROCHENKO

FEATURES OF DEVELOPING A PROJECT FOR ORGANIZING PRODUCTION AT AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

Abstract

The article formulates and analyzes the stages of developing a project for production organization at an industrial enterprise, taking into account their possible peculiarities for the enterprise, substantiates the importance of each stage of development, the sequence of their execution over time, the tools and mathematical models used, the expected results at each stage, the generated information flows, the need to exchange relevant information between the stages and the possibility of its adjustment.

Keywords:

efficiency, optimization, production program, production capacity, equipment utilization, a project for production organization.

For citation:

Puzanova, T. V. Features of developing a project for organizing production at an industrial enterprise / T. V. Puzanova, V. A. Shirochenko // Belarusian-Russian University Bulletin. – 2025. – № 2 (87). – P. 109–118.