

ТЕХНОЛОГИЯ И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 69.057

DOI: 10.22227/1997-0935.2025.3.419-428

Оптимизация производства в условиях выпуска широкой номенклатуры изделий

Виталий Юрьевич Гуринович¹, Дмитрий Александрович Поздняков²,
Сергей Николаевич Леонович¹

¹ Белорусский национальный технический университет (БНТУ); г. Минск, Республика Беларусь;

² Республиканское унитарное предприятие «Институт жилища — Научно-исследовательский
и проектно-технологический институт стройиндустрии им. Атаева С.С.»
(Институт жилища — НИПТИС им. Атаева С.С.); г. Минск, Республика Беларусь

АННОТАЦИЯ

Введение. Развитие индустриального жилищного строительства характеризуется ростом домов с индивидуальными архитектурными и конструктивно-планировочными решениями. Это является следствием роста номенклатуры изделий, повышения доли продукции с низкими параметрами тиражности и большим диапазоном колебаний трудоемкости. Отсутствие должного внимания к большому разбросу параметров изделий — результат неритмичности производства, простоев и неэффективного использования трудовых ресурсов. В таких условиях важно обеспечение комплектности производства изделий и соблюдение графиков поставки продукции на строительную площадку. Решение указанных задач реализуется управлением запасами готовой продукции или созданием ритмичного и непрерывного производства.

Материалы и методы. В соответствии с задачами исследования применялись методы анализа и синтеза, математической статистики, имитационного моделирования и экспертных оценок. Для оценки сложности изделий определена система критериев с учетом конструктивных решений и геометрических параметров изделий. На основании установленных критериев изделия классифицированы на категории, для которых определены индикаторы сложности и показатели трудоемкости. Данная классификация изделий легла в основу алгоритма оптимизации производства.

Результаты. Анализ номенклатуры изделий производственных программ предприятий зафиксировал колебания показателей трудоемкости производства в диапазоне 2,0–17,0 чел.-ч. Предпринятая попытка установить зависимость показателей трудоемкости от объема изделия показала отсутствие функциональной зависимости. На базе анализа распределения трудоемкости обоснована гипотеза о влиянии на показатели трудоемкости прежде всего конструктивных особенностей изделий.

Выводы. На основании полученных данных предложена система планирования раскладки изделий в формах и назначения ритма производства с учетом конструктивных решений изделий по индикаторам сложности, которые могут устанавливаться методом экспертных оценок. Для практической реализации предложенной системы оценок разработан алгоритм назначения оптимальных технологических параметров, который обеспечивает одновременно равновесную трудоемкость и оптимальную раскладку изделий в формах и тем самым ритмичность производства.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: индустриальное домостроение, предприятия индустриального домостроения, сборные железобетонные конструкции, организация производства, номенклатура изделий, производственная мощность, производственная программа предприятий, оптимизация производства, алгоритм, трудоемкость

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Гуринович В.Ю., Поздняков Д.А., Леонович С.Н. Оптимизация производства в условиях выпуска широкой номенклатуры изделий // Вестник МГСУ. 2025. Т. 20. Вып. 3. С. 419–428. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.3.419-428

Автор, ответственный за переписку: Виталий Юрьевич Гуринович, Gurinovich@bntu.by.

Optimization of production under conditions of production of a wide range of products

Vitaliy Yu. Gurinovich¹, Dmitrii A. Pozdnyakov², Sergey N. Leonovich¹

¹ Belarusian National Technical University (BNTU); Minsk, Republic of Belarus;

² Republican Unitary Enterprise “Institute of Housing — Research and Design and Technological Institute of the Construction Industry named after Ataeva S.S.” (Institute of housing — NIPTIS named after Atayev S.S.); Minsk, Republic of Belarus

ABSTRACT

Introduction. The development of industrial housing construction is characterized by the growth of houses with individual architectural and structural-planning solutions. This is a consequence the growth of the product range, increase in the share of individual products with low circulation parameters and a wide range of fluctuations in labour intensity. Lack of proper attention to a large variation of product parameters is a consequence of non-rhythmic production, downtime and inefficient use labour resources. In such conditions it is important to ensure completeness of products production and compliance with delivery schedules products to the construction site. The solution of these tasks is realized by managing stocks of finished products or creating rhythmic and continuous production.

Materials and methods. In accordance with the research objectives, the methods of analysis and synthesis, mathematical statistics, simulation modelling and expert evaluations were applied. To assess the complexity of products, a system of criteria was established, taking into account the design solutions and geometric parameters of products. Based on the established criteria, the products are classified into categories, for which the complexity indicators and labour intensity indicators are determined. This classification products formed the basis of the production optimization algorithm.

Results. The analysis of the nomenclature of products of the production programmes of the enterprises has fixed the fluctuations of labour intensity indicators of production in the range of 2.0–17.0 man-hours. The attempt to establish the dependence of labour intensity indicators on the product volume showed the absence of functional dependence. On the basis of the analysis of labour intensity distribution the hypothesis about the influence on the labour intensity indicators, first of all, the design features of products were substantiated.

Conclusions. On the basis of the obtained data, a system of planning the layout of products in moulds and assigning the rhythm of production taking into account the design solutions of products according to the indicators of complexity, which can be established by the method of expert evaluations, is proposed. For practical implementation of the proposed evaluation system, an algorithm of optimal technological parameters assignment is developed, which provides simultaneously equilibrium labour intensity and optimal product layout in moulds, and thus rhythmicity of production.

KEYWORDS: industrial house-building, industrial house-building enterprises, prefabricated reinforced concrete structures, production organization, product range, production capacity, production programme of enterprises, production optimization, algorithm, labour intensity

FOR CITATION: Gurinovich V.Yu., Pozdnyakov D.A., Leonovich S.N. Optimization of production under conditions of production of a wide range of products. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2025; 20(3):419-428. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.3.419-428 (rus.).

Corresponding author: Vitaliy Yu. Gurinovich, Gurinovich@bntu.by.

ВВЕДЕНИЕ

Архитектурная выразительность и разнообразие конструктивно-планировочных решений домов в индустриальном исполнении — следствие расширения номенклатуры изделий в производственных программах предприятий, повышения доли индивидуальной продукции с низкими параметрами тиражности. При этом в работах [1–6] приводятся факты закономерности роста номенклатуры изделий и зависимости этого роста от архитектурной выразительности и гибкости конструктивно-планировочных решений домов.

Одной из ключевых задач планирования и управления производством широкой номенклатуры изделий является оптимизация организации комплектного выпуска продукции при рациональном использовании имеющихся ресурсов, в том числе запасов готовой продукции на складе [4]. Данная точка зрения просматривается в работах [7–10].

Известны два основных подхода оптимизации и повышения эффективности производства широкой номенклатуры изделий для гибкого реагирования на изменение спроса на продукцию и обеспечения непрерывности поставок изделий на строительные площадки: управление запасами готовой продукции и управление резервами времени в производственном цикле выпуска изделий.

Продуктивным направлением оптимизации служит создание резервов времени за счет обеспечения ритмичного производства и сокращения продолжительности производственного цикла [9, 10]. Данный

подход базируется на синхронизации продолжительности операций на отдельных переделах производственного цикла и равномерном распределении трудовых ресурсов. Это содействует минимальным запасам комплектующих материалов и готовой продукции на складе, позволяет снизить затраты на оборотные средства предприятий, сократить производственные площади для складирования изделий [11–16]. Приведенные факты обосновывают экономическую эффективность обеспечения непрерывной и комплектной поставки изделий на строительные площадки за счет достижения ритмичности производства.

Тем не менее в отечественной практике организации производства для обеспечения непрерывности поставки изделий на строительные площадки повсеместно практикуется подход управления запасами готовой продукции на складе. Для сравнения такой подход дает возможность улучшить экономические показатели предприятий, способствует ритмичной работе всего индустриального строительного комплекса и играет существенную роль в совершенствовании технологии индустриального домостроения, но при этом доля трудовых затрат на складирование изделий составляет (без учета формовочных цехов) около 7 % трудовых затрат производства, а доля капитальных вложений — 14 % [4].

В качестве основных сдерживающих факторов применения подходов, основанных на создании резервов времени, можно выделить сложность обеспечения ритмичности производства в условиях широкой и изменяющейся номенклатуры изде-

лий в производственных программах предприятий с большими колебаниями показателей трудоемкости. Кроме того, отсутствие должного внимания к данному подходу обусловлено установленным в нормативной документации¹ порядком назначения ритма производства в зависимости от типа, габаритов и объема изделий. При этом производственный ритм назначается по усредненным показателям и постоянным на всех технологических переделах. Такой грубый подход к планированию производства является простым, но не соответствует критериям эффективного производства в условиях широкой линейки конструктивных решений изделий [17–20]; приводит к неритмичности производства и, как следствие, образованию простоев на отдельных переделах производства.

Следует отметить, что планирование раскладки изделий в формах технологических линий непосредственно в производственных условиях осуществляется операторами линий или персоналом технического отдела предприятий, при этом эффективность схем раскладки зависит от квалификации и опыта работника. Это может стать причиной снижения эффективности производства и нерационального использования энергоресурсов в случае низкого показателя загрузки форм и неритмичности производства при неравномерности показателей трудоемкости для отдельных форм на технологической линии.

Таким образом, отсутствие должного внимания к большому разбросу параметров изделий в номенклатуре производственных программ предприятий на современном этапе развития индустриального домостроения и планированию раскладки изделий в формах технологических линий определяет актуальность исследований в данном направлении. При этом научное обоснование зависимости ритма производства прежде всего от конструктивных решений изделий — важная задача в организации ритмичного и бесперебойного производства.

На основании вышесказанного приоритетной задачей оптимизации производства за счет обеспечения ритмичности и непрерывности выпуска продукции является определение критериев оценки сложности конструктивных решений разнотипных изделий и разработка на этой основе алгоритма достижения равномерной трудоемкости работ на всех переделах производственного цикла.

Решение обозначенной задачи позволит обосновать практическую значимость подхода управления резервами времени в условиях действующего производства для оптимизации производства, снижения запасов изделий на складе готовой продукции пред-

приятий и повышения эффективности производства широкой номенклатуры изделий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования были разделены на отдельные этапы. Алгоритм проведения исследований, включая основные задачи и применяемые методы исследований, представлен на рис. 1.

Основываясь на выдвинутой в работе [10] теории непосредственного влияния на эффективность организации производства конструктивных решений и технологических особенностей производства изделий, разработана система оценки сложности изделий.

Сложность изделий предлагается оценивать системой критериев, которые характеризуются показателями трудоемкости на всех переделах производственного цикла. Установленные критерии являются базой для обеспечения равновесной трудоемкости при планировании раскладки изделий, достижения ритмичности производства, повышения эффективности производства при выпуске широкой номенклатуры изделий.

Для апробации выдвигаемой гипотезы выполнен анализ месячной производственной программы линии циркуляции паллет, специализированной на выпуск плит перекрытия. Общее количество изделий в программе составило 1146 шт. При этом 58 изделий относились к доборным изделиям различного назначения (разделительные стенки, плиты лоджий). Таким образом, общее количество плит перекрытия в месячной производственной программе составило 1088 изделий.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Известно, что основным фактором, влияющим на эффективность производства, в том числе расход энергоресурсов и ритмичность производства, является раскладка изделий в формах [11, 12]. Только за счет оптимизации раскладки изделий и достижения максимальной загрузки форм можно до 23 % сократить расход энергоресурсов на тепловлажностную обработку изделий и более чем на 20 % количество производственных циклов [12]. В сложившейся практике планирования раскладки изделий ключевой будет задача достижения максимальной загрузки форм и тем самым повышения объема бетона в одной формовке. Однако анализ организационных решений показал, что при таком одностороннем подходе производственные потери прежде всего связаны с просчетами в назначении продолжительности ритма производства.

Достижение максимальной загрузки форм при планировании раскладки изделий и игнорирование при этом конструктивных особенностей изделий, влияющих на показатели трудоемкости, могут стать следствием неравнозначности показателей трудоемкости для отдельных форм и продолжительности операций в технологическом цикле производства. По-

¹ ОНТП 07–85. Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий сборного железобетона : введ. 01.01.1986 (вместо ОНТП-7–80. Общесоюзные нормы технологического проектирования предприятий сборного железобетона). М. : Министерство промышленности строительных материалов СССР, 1986. 51 с.

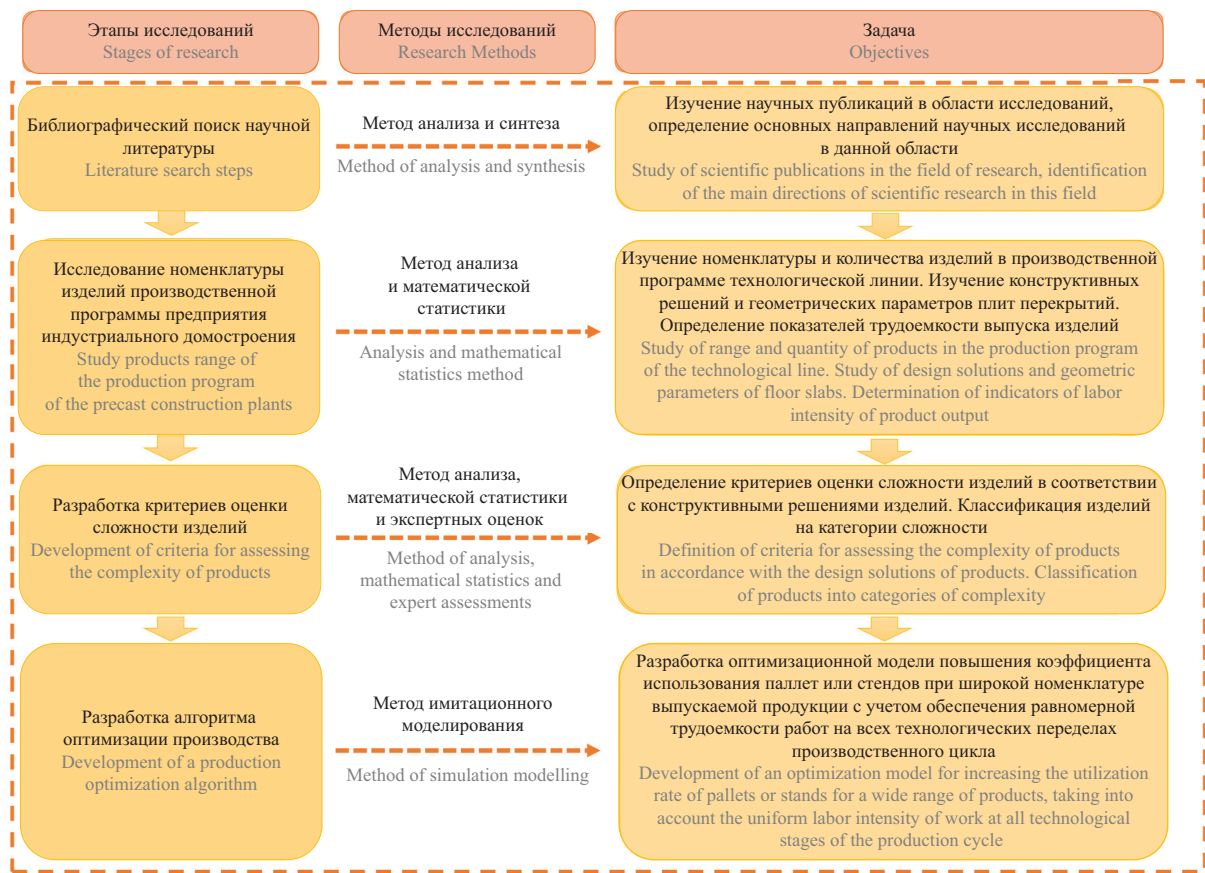


Рис. 1. Алгоритм проведения исследований
Fig. 1. Research algorithm

явление таким образом узких мест приводит к простоям на технологических постах и неритмичности производства, при этом организация производства в таком виде не соответствует критериям поточности производства. Отсюда вытекают срывы поставки комплектующих, расходных материалов и бетонной смеси к постам производственной линии, а также графиков поставки изделий на строительные площадки.

Определение критериев оценки сложности изделий — актуальная задача организации производственного процесса. Установленное в отечественной практике нормирование ритма производства только в зависимости от типа и габаритов изделий, объема бетона в изделии характеризует прежде всего трудоемкость на постах формования изделий. Это в свою очередь не обеспечивает достаточной объективности трудоемкости производства широкой номенклатуры изделий на всех переделах производственного цикла.

Постоянно растущие требования к качеству и внешнему виду изделий, производство изделий максимальной заводской комплектации, возведение зданий с индивидуальными архитектурными и конструктивными решениями, современные проектные решения скрытого монтажа инженерных систем требуют большей трудоемкости и ручного труда на постах армирования и монтажа закладных деталей, механической доводки поверхностей изделий и др. Вследствие этого

необходима всесторонняя оценка сложности изделий с учетом металлоемкости, конструктивных решений и требований к качеству поверхностей изделий.

Анализ производственной программы технологической линии производства плит перекрытия показал, что изделия характеризуются значительными колебаниями по объему от 0,55 до 3,4 м³ и колебаниями показателей трудоемкости изделий от 2,0 до 17,0 чел.-ч. Как показал статистический анализ данных, между объемом изделий и показателями трудоемкости зависимость отсутствует. На рис. 2 представлено распределение изделий в номенклатуре производственной программы по объему в категориях до 1, от 1 до 2, от 2 до 3 и более 3 м³.

Распределение показателей трудоемкости в зависимости от объема изделий в обозначенных выше категориях приведено на рис. 3.

Анализируя данные на рис. 3, следует отметить, что для 25 % изделий категории 1,0–2,0 м³ трудоемкость производства соотносится с изделиями категории до 1,0 м³. При этом для изделий категории более 3,0 м³ трудоемкость ниже или соответствует 25 % изделий категории 2,0–3,0 м³. Приведенные данные свидетельствуют о зависимости трудоемкости изделий прежде всего от конструктивных решений и актуальности предлагаемого подхода оценки сложности изделий.

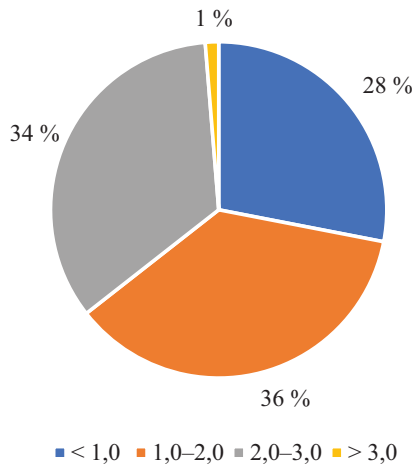


Рис. 2. Распределение изделий в номенклатуре производственной программы в зависимости от их объема

Fig. 2. Distribution of structures in the range of products in the production program depending on their volume

На основе выполненного анализа можно утверждать, что разработка решений оптимизации производства после ввода технологических линий в эксплуатацию с учетом конструктивных решений изделий является объективным требованием обеспечения эффективности производства. При этом основным этапом реализации разработанного подхода для обеспечения ритмичности производства является проектирование раскладки изделий в формах технологических линий.

В предлагаемой методике на примере плит перекрытия для каждого изделия методом экспертных оценок были установлены индикаторы сложности. Важность индикатора зависит от степени влияния на трудоемкость производства. В соответствии с индикаторами сложности изделия условно разделены на 5 категорий (табл.).

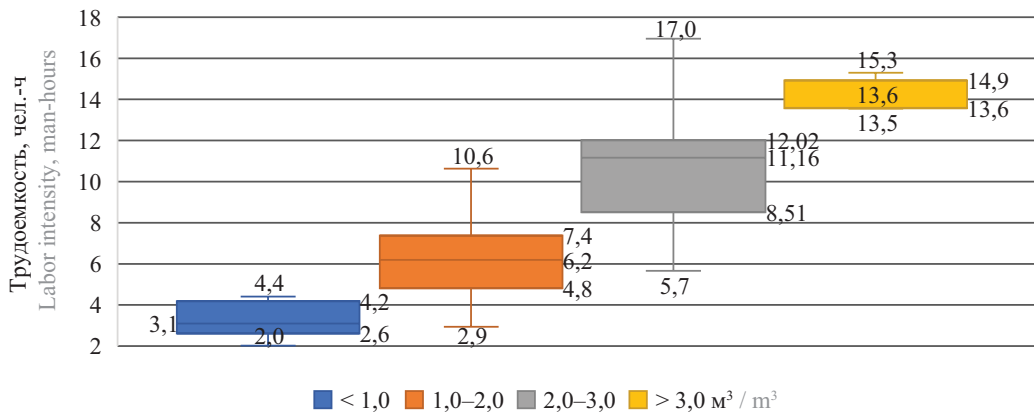


Рис. 3. Распределение показателей трудоемкости в зависимости от объема изделий

Fig. 3. Distribution of labor intensity indicators depending on the volume of products

Классификация изделий по критериям сложности

Classification of products by complexity criteria

Категория сложности Difficulty category	Индикаторы сложности / Complexity Indicators	Трудоемкость производства, чел.-ч/м³ / Production labor intensity, man-hours/m³
I	Плиты цоколя и кровли, рядовые плиты без электрики / Basement and roof slabs, row slabs without electrics	2,8
II	Плиты кровли и рядовые плиты с несложной электрикой. Количество закладных деталей более 5 шт. Наличие второй (верхней) сетки и вкладышей. Плиты с установкой закладных деталей для крепления парапета Roof slabs and row slabs with uncomplicated electrics. The number of embedded parts is more than 5 pcs. Presence of the second (upper) grid and liners. Slabs with installation of embedded parts for fixing the parapet	3,15
III	Плиты со сложной электрикой (большое количество каналов или наличие полиэтиленовой трубы). Плиты с универсальным вентблоком или нишей под вентблок. Плиты без электрики, но с устройством штраб Slabs with complex electrics (large number of ducts or HDPE pipe). Slabs with universal ventblock or niches for the ventilation block. Slabs without electrics, but with the device of punches	4,3

Окончание табл. / End of the Table

Категория сложности Difficulty category	Индикаторы сложности / Complexity Indicators	Трудоемкость производства, чел.-ч/м³ / Production labor intensity, man-hours/m³
IV	Плиты с электрикой и с устройством штраб. Плиты с габаритами по высоте в диапазоне 3280–3580 мм Slabs with electrics and with punches. Slabs with height dimensions in the range of 3,280–3,580 mm	4,5
V	Плиты особо сложные (плиты с большим количеством вкладышей, дополнительными вкладышами под вентблок, с наличием усиленного армирования, консольные плиты). Плиты с габаритами по высоте более 3580 мм Specially complex slabs (slabs with a large number of inserts, additional inserts under the vent block, with reinforced reinforcement, cantilever slabs). Slabs with height dimensions of more than 3,580 mm	6,4

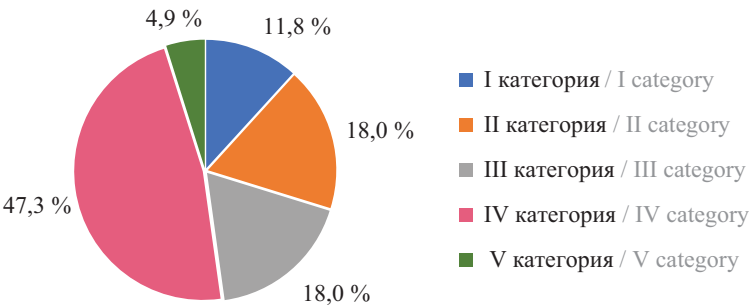


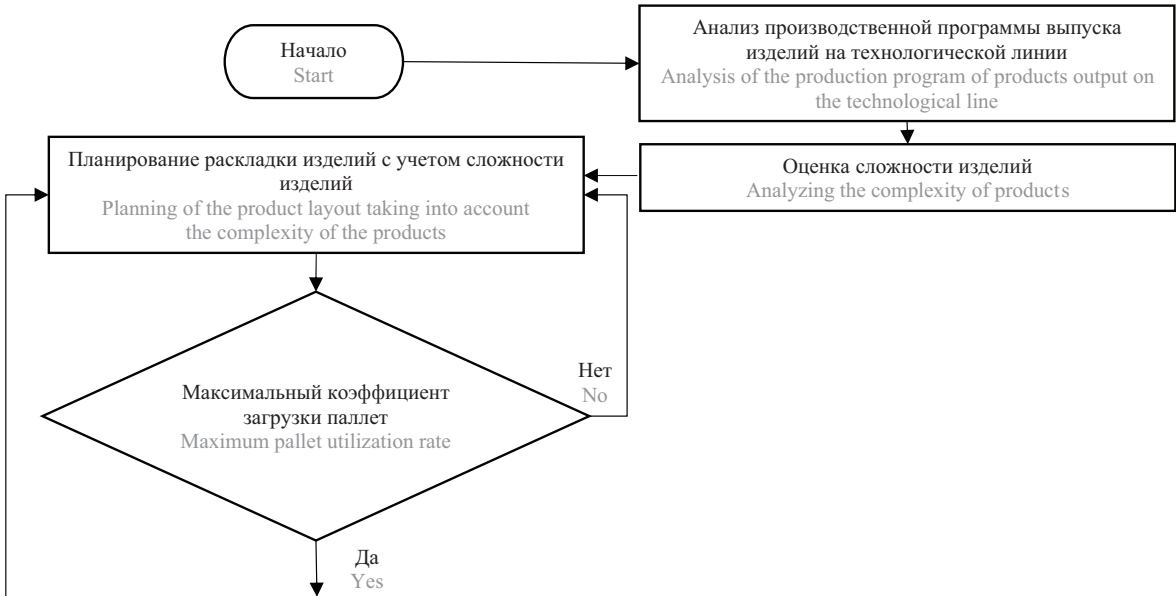
Рис. 4. Количественное распределение изделий по категориям в производственной программе

Fig. 4. Quantitative distribution of products by category in the production program

Количественное распределение изделий в зависимости от категории сложности в производственной программе представлено на рис. 4.

Полученные данные свидетельствуют о неэффективности одностороннего подхода к планированию раскладки изделий только с учетом достижения максимальной загрузки форм. В соответствии с этим для планирования раскладки изделий в произ-

водственных условиях с учетом совокупности факторов, определяющих загрузку форм и конструктивные решения изделий, требуется разработка соответствующей методологии. На основании проведенных натурных исследований предложен алгоритм назначения оптимальных технологических параметров производственных линий после ввода их в эксплуатацию с учетом оценки сложности изделий (рис. 5).



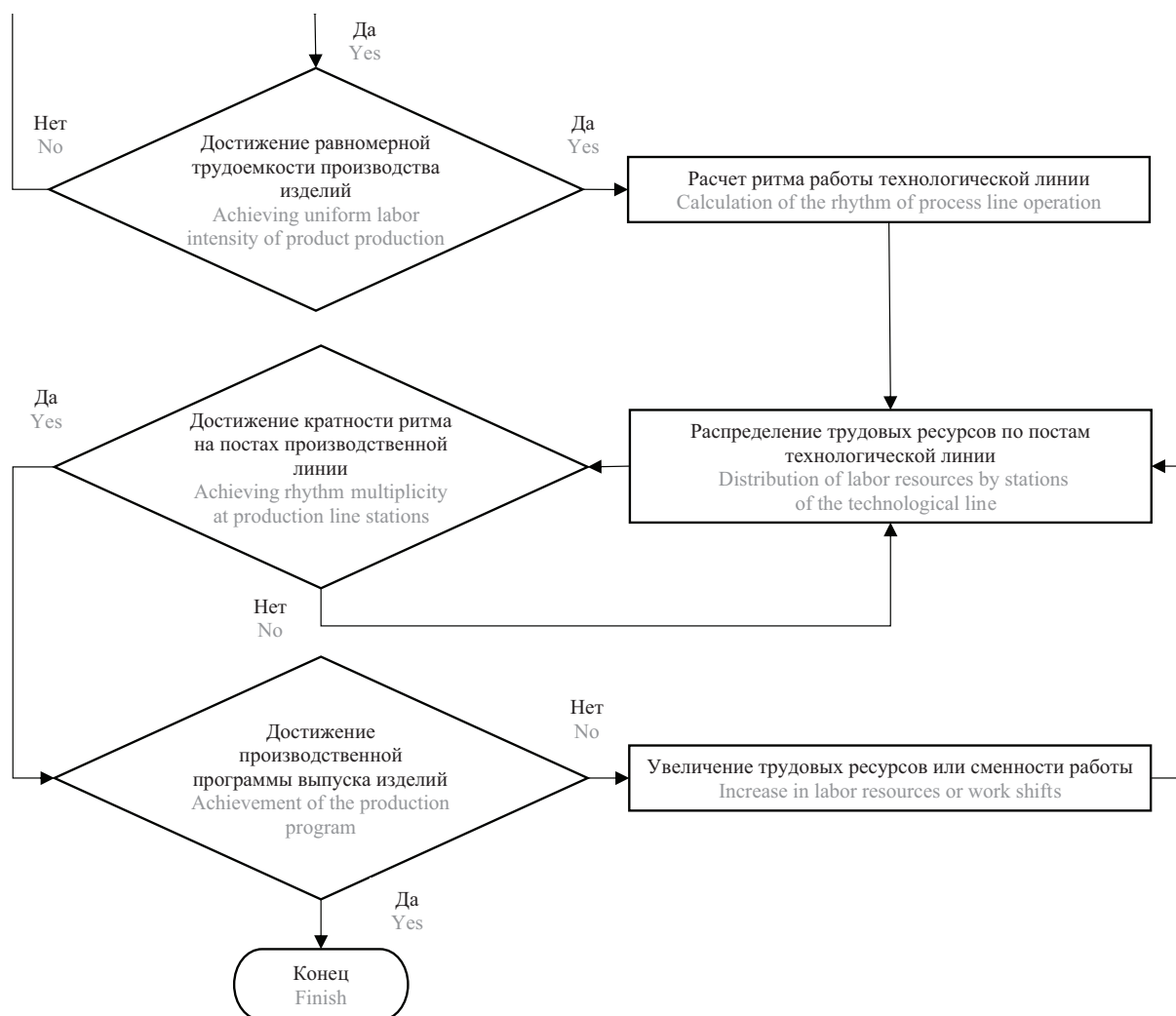


Рис. 5. Алгоритм оптимизации производства с учетом сложности изделий

Fig. 5. Algorithm for optimizing production taking into account the complexity of products

Предлагаемый алгоритм отличается от практи-
куемой раскладки изделий обеспечением взаимосвя-
зи двух ключевых требований: организации макси-
мальной загрузки форм и достижения равномерной
трудоемкости производства для каждой формы.
Решение реализуется на основе предложенного
подхода классификации изделий в номенклатуре
на категории по показателям трудоемкости их про-
изводства. Формируя на первом этапе равновесную
трудоемкость путем раскладки изделий с учетом
их категорий, на втором этапе выполняется оценка
загрузки форм. При соответствии установленных
критериев назначаются параметры производства
и трудовые ресурсы для обеспечения производ-
ственной программы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

Определены основные направления оптимиза-
ции комплектного выпуска продукции и обеспече-
ния непрерывности поставки изделий на строитель-
ные площадки в условиях широкой номенклатуры

изделий. Основываясь на проведенном анализе из-
вестных подходов, установлено, что продуктивным
с точки зрения сокращения продолжительности
технологического процесса, равномерного распре-
деления трудовых ресурсов и соблюдения графиков
поставки изделий на строительные площадки яв-
ляется создание и управление резервами времени
в производстве за счет обеспечения ритмичности
производства.

В соответствии с задачами исследований пред-
ложен и апробирован подход нормирования ритма,
отличающийся от известных учетом конструктивных
решений изделий. Актуальность учета конструктив-
ных решений изделий при оптимизации выпуска
широкой номенклатуры изделий обоснована ре-
зультатами анализа производственной программы
выпуска плит перекрытия. Установлены колебания
показателей трудоемкости производства изделий
в диапазоне 2,0–17,0 чел.-ч. Предпринятая попытка
определить зависимость показателей трудоемкости
от объема формируемого изделия зафиксировала от-
сутствие функциональной зависимости. При этом

установленные факты более высокой трудоемкости производства для изделий с меньшим объемом бетона подтверждают гипотезу о влиянии на показатели трудоемкости прежде всего конструктивных особенностей изделий. На базе полученных данных предложена система оценки сложности изделий с учетом их конструктивных решений по индикаторам сложности, которые могут назначаться методом экспертных оценок на производстве.

Обосновано, что ритмичность производства в условиях выпуска широкой номенклатуры изделий в первую очередь достигается планированием раскладки изделий с условием обеспечения равновесной трудоемкости для каждой формы в производственном цикле

на основании учета конструктивных решений и сложности изделий.

Практическая реализация предложенной системы оценок изделий представлена в виде алгоритма назначения оптимальных технологических параметров, который обеспечивает одновременно равновесную трудоемкость и оптимальную раскладку изделий и тем самым ритмичность производства. Такой подход к организации производства является новым и малоизученным в отечественной практике управления производством, позволяет реализовать многофакторный подход оптимизации производства в условиях выпуска широкой номенклатуры изделий на основе управления и создания резервов времени.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Граник Ю.Г., Полтавцев С.И. Реконструкция и техническое перевооружение предприятий полного домостроения. М.: Стройиздат, 1989. 268 с.

2. Климкин К.А. Методические основы оценки использования производственных мощностей домостроительных предприятий в условиях инвестиционного спада: дис. ... канд. эконом. наук. Хабаровск, 1998. 141 с. EDN NLMYBX.

3. Джалилов Ф.Ф. Разработка методов формирования организационно-технологических решений по реконструкции действующих предприятий: дис. ... канд. техн. наук. М., 1996. 356 с. EDN QCYJXZ.

4. Николаев С.В. Оптимизация проектных и производственных решений технологии производства изделий крупнопанельного домостроения: дис. ... д-ра техн. наук. М., 1981. 399 с. EDN NPKZGZ.

5. Алешина Л.С. Унификация сборных железобетонных изделий полносборного домостроения на основе заводского производства: дис. ... канд. техн. наук. М., 1984. 166 с. EDN NPHNUB.

6. Гуринович В.Ю. Исследование влияния номенклатуры изделий на показатели производственной мощности предприятий индустриального домостроения // Наука и техника. 2024. Т. 23. № 2. С. 128–139. DOI: 10.21122/2227-1031-2024-23-2-128-139. EDN SJCPWU.

7. Wang Z., Hu H., Gong J. Framework for modeling operational uncertainty to optimize offsite production scheduling of precast components // Automation in Construction. 2018. Vol. 86. Pp. 69–80. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.10.026

8. Ma Z., Yang Z. Liu S. Wu S. Optimized Rescheduling of Multiple Production Lines for Flowshop Production of Reinforced Precast Concrete Components // Automation in Construction. 2018. Vol. 95. Pp. 86–97. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.08.002

9. Li X., Li Z., Wu G. Lean precast production system based on the CONWIP method // KSCE Journal of

Civil Engineering. 2018. Vol. 22. Issue 7. Pp. 2167–2177. DOI: 10.1007/s12205-017-2009-4

10. Yuan Z., Qiao Y., Guo Y., Wang Y., Chen C., Wang W. Research on Lean Planning and Optimization for Precast Component Production Based on Discrete Event Simulation // Advances in Civil Engineering. 2020. Vol. 2020. Issue 1. DOI: 10.1155/2020/8814914

11. Khalili A., Chua D.K. Integrated prefabrication configuration and component grouping for resource optimization of precast production // Journal of Construction Engineering and Management. 2014. Vol. 140. Issue 2. DOI: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0000798

12. Wang D., Liu G., Li K., Wang T., Shrestha A., Martek I. et al. Layout optimization model for the production planning of precast concrete building components // Sustainability. 2018. Vol. 10. Issue 6. P. 1807. DOI: 10.3390/su10061807

13. Al-Bazi A., Dawood N. Developing crew allocation system for the precast industry using genetic algorithms // Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. 2010. Vol. 25. Issue 8. Pp. 581–595. DOI: 10.1111/j.1467-8667.2010.00666.x

14. Benjaoran V., Dawood N. Intelligence approach to production planning system for bespoke precast concrete products // Automation in Construction. 2006. Vol. 15. Issue 6. Pp. 737–745. DOI: 10.1016/j.autcon.2005.09.007

15. Liu Z., Liu Z., Liu M., Wang J. Optimization of Flow Shop Scheduling in Precast Concrete Component Production via Mixed-Integer Linear Programming // Advances in Civil Engineering. 2021. Vol. 2021. Issue 1. DOI: 10.1155/2021/6637248

16. Wang Z., Hu H. Dynamic response to demand variability for precast production rescheduling with multiple lines // International Journal of Production Research. 2018. Vol. 56. Issue 16. Pp. 5386–5401. DOI: 10.1080/00207543.2017.1414970

17. Ruan M., Xu F. Improved eight-process model of precast component production scheduling considering

resource constraints // *Journal of Civil Engineering and Management*. 2022. Vol. 28. Issue 3. Pp. 208–222. DOI: 10.3846/jcem.2022.16454

18. Jiang W., Wu L. Flow shop optimization of hybrid make-to-order and make-to-stock in precast concrete component production // *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 297. P. 126708. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126708

19. Гуринович В.Ю., Поздняков Д.А., Леонович С.Н. Мониторинг работы и определение опти-

мальных технологических параметров линий циркуляции паллет // *Строительные материалы*. 2022. № 3. С. 4–8. DOI: 10.31659/0585-430X-2022-800-3-4-9. EDN AFEOQG.

20. Wang Z., Liu Y., Hu H., Dai L. Hybrid rescheduling optimization model under disruptions in precast production considering real-world environment // *Journal of Construction Engineering and Management*. 2021. Vol. 47. Issue 4. DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001976

Поступила в редакцию 25 апреля 2024 г.

Принята в доработанном виде 16 июля 2024 г.

Одобрена для публикации 22 января 2025 г.

ОБ АВТОРАХ: **Виталий Юрьевич Гуринович** — старший преподаватель кафедры строительных материалов и технологии строительства; **Белорусский национальный технический университет (БНТУ)**; 220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, д. 65; Gurinovich@bntu.by;

Дмитрий Александрович Поздняков — заместитель директора — главный инженер; **Республиканское унитарное предприятие «Институт жилища — Научно-исследовательский и проектно-технологический институт стройиндустрии им. Атаева С.С.» (Институт жилища — НИПТИС им. Атаева С.С.)**; 220076, Республика Беларусь, г. Минск, ул. Ф. Скорины, д. 15; pozddzm@mail.ru;

Сергей Николаевич Леонович — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой строительных материалов и технологии строительства; **Белорусский национальный технический университет (БНТУ)**; 220013, Республика Беларусь, г. Минск, пр. Независимости, д. 65; Sleonovich@mail.ru.

Вклад авторов:

Гуринович В.Ю. — идея, планирование исследований, сбор и обработка материала, написание исходного текста, итоговые выводы.

Поздняков Д.А. — сбор и анализ материалов, обработка материалов, оформление текста.

Леонович С.Н. — научное руководство и редактирование текста.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

REFERENCES

1. Granik Yu.G., Poltavtsev S.I. *Reconstruction and technical re-equipment of fully precast construction plants*. Moscow, Stroyizdat, 1989; 268. (rus.).

2. Klimkin K.A. *Methodological bases for assessing the utilization of production capacities of house-building plants in the conditions of investment recession : thesis of candidate of economic sciences*. Khabarovsk, 1998; 141. EDN NLMYBX. (rus.).

3. Dzhililov F.F. *Development of methods for forming organizational and technological solutions for the conclusion of existing plants : thesis of candidate of technical sciences*. Moscow, 1996; 356. EDN QCYJXZ. (rus.).

4. Nikolaev S.V. *Optimization of design and production solutions production technology of precast structures : thesis of doctor of technical sciences*. Moscow, 1981; 399. EDN NPKZGZ. (rus.).

5. Aleshina L.S. *Unification of prefabricated reinforced concrete products of full prefabricated house building on the basis of factory production : thesis of candidate of technical sciences*. Moscow, 1984; 166. EDN NPHNUB. (rus.).

6. Gurinovich V.Yu. Study of influence of product range on production capacity indicators of precast construction plants. *Science and Technique*. 2024; 23(2):128-139. DOI: 10.21122/2227-1031-2024-23-2-128-139. EDN SJCPWU. (rus.).

7. Wang Z., Hu H., Gong J. Framework for modeling operational uncertainty to optimize offsite production scheduling of precast components. *Automation in Construction*. 2018; 86:69-80. DOI: 10.1016/j.autcon.2017.10.026

8. Ma Z., Yang Z., Liu S., Wu S. Optimized Rescheduling of Multiple Production Lines for Flowshop Production of Reinforced Precast Concrete Components. *Automation in Construction*. 2018; 95:86-97. DOI: 10.1016/j.autcon.2018.08.002

9. Li X., Li Z., Wu G. Lean precast production system based on the CONWIP method. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 2018; 22(7):2167-2177. DOI: 10.1007/s12205-017-2009-4

10. Yuan Z., Qiao Y., Guo Y., Wang Y., Chen C., Wang W. Research on Lean Planning and Optimization for Precast Component Production Based on Discrete

Event Simulation. *Advances in Civil Engineering*. 2020; 2020(1). DOI: 10.1155/2020/8814914

11. Khalili A., Chua D.K. Integrated prefabrication configuration and component grouping for resource optimization of precast production. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2014; 140(2). DOI: 10.1061/(asce)co.1943-7862.0000798

12. Wang D., Liu G., Li K., Wang T., Shrestha A., Martek I. et al. Layout optimization model for the production planning of precast concrete building components. *Sustainability*. 2018; 10(6):1807. DOI: 10.3390/su10061807

13. Al-Bazi A., Dawood N. Developing crew allocation system for the precast industry using genetic algorithms. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. 2010; 25(8):581-595. DOI: 10.1111/j.1467-8667.2010.00666.x

14. Benjaoran V., Dawood N. Intelligence approach to production planning system for bespoke precast concrete products. *Automation in Construction*. 2006; 15(6):737-745. DOI: 10.1016/j.autcon.2005.09.007

15. Liu Z., Liu Z., Liu M., Wang J. Optimization of Flow Shop Scheduling in Precast Concrete Component Production via Mixed-Integer Linear Programming. *Advances in Civil Engineering*. 2021; 2021(1). DOI: 10.1155/2021/6637248

16. Wang Z., Hu H. Dynamic response to demand variability for precast production rescheduling with multiple lines. *International Journal of Production Research*. 2018; 56(16):5386-5401. DOI: 10.1080/00207543.2017.1414970

17. Ruan M., Xu F. Improved eight-process model of precast component production scheduling considering resource constraints. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2022; 28(3):208-222. DOI: 10.3846/jcem.2022.16454

18. Jiang W., Wu L. Flow shop optimization of hybrid make-to-order and make-to-stock in precast concrete component production. *Journal of Cleaner Production*. 2021; 297:126708. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.126708

19. Gurinovich V.Yu., Pozdnyakov D.A., Leonovich S.N. Monitoring of operation and determination of optimal technological parameters of pallet circulation lines. *Construction Materials*. 2022; 3:4-8. DOI: 10.31659/0585-430X-2022-800-3-4-9. EDN AFEOQG. (rus.).

20. Wang Z., Liu Y., Hu H., Dai L. Hybrid rescheduling optimization model under disruptions in precast production considering real-world environment. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2021; 47(4). DOI: 10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001976

Received April 25, 2024.

Adopted in revised form on July 16, 2024.

Approved for publication on January 22, 2025.

B I O N O T E S: **Vitaliy Yu. Gurinovich** — senior lecturer of the Department of Building Materials and Construction Technology; **Belarusian National Technical University (BNTU)**; 65 prospekt Nezavisimosti, Minsk, 220013, Republic of Belarus; Gurinovich@bntu.by;

Dmitrii A. Pozdnyakov — deputy director — chief engineer; **Republican Unitary Enterprise “Institute of Housing — Research and Design and Technological Institute of the Construction Industry named after Ataeva S.S.” (Institute of housing — NIPTIS named after Atayev S.S.)**; 15 F. Skorina st., Minsk, 220076, Republic of Belarus; pozddzm@mail.ru;

Sergey N. Leonovich — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Building Materials and Construction Technology; **Belarusian National Technical University (BNTU)**; 65 prospekt Nezavisimosti, Minsk, 220013, Republic of Belarus; Sleonovich@mail.ru.

Contribution of the authors:

Vitaliy Yu. Gurinovich — conceptualization, research planning, data gathering and processing, writing of the article, conclusions.

Dmitrii A. Pozdnyakov — data gathering and analyzing materials, processing of materials, text layout.

Sergey N. Leonovich — scientific editing of the text, supervision.

The authors declare no conflict of interest.