

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД ВЫБОРА СПОСОБА ПРОИЗВОДСТВА ИЗДЕЛИЙ КРУПНОПАНЕЛЬНОГО ДОМОСТРОЕНИЯ

В. Ю. Гуринович¹, П. И. Юхневский², С. Н. Леонович³

¹ Магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Строительные материалы и технология строительства», Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: gurinovich@bntu.by

² Д. т. н., профессор кафедры «Строительные материалы и технология строительства», Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: yuhnevsky@bntu.by

³ Д. т. н., профессор, заведующий кафедрой «Строительные материалы и технология строительства», Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь, e-mail: sleonovich@bntu.by

Реферат

Повышение эффективности жилищного строительства в индустриальном исполнении находится в прямой зависимости от технологического уровня производственной базы. Определена актуальность внедрения инновационных подходов и организационно-технологических решений производства изделий на базе линий с гибкой технологией. Приведен сравнительный анализ технологических линий с гибкой технологией. Определено, что основным критерием выбора способа производства является достижение максимальной эффективности организации производства с учетом индивидуальных особенностей предприятий. Выполнен анализ способов производства на отечественных предприятиях. Зафиксирован несистемный подход выбора способа производства при реконструкции и модернизации предприятий. Разработана модель системного подхода выбора способа производства, которая обосновывает актуальность принятия решений на основе анализа и синтеза параметров технологического проектирования и эксплуатации производства.

Ключевые слова: индустриальное домостроение, предприятие индустриального домостроения, реконструкция, производство сборных железобетонных конструкций, организация производства сборных железобетонных конструкций, гибкая технология производства, линия циркуляции паллет, стендовая технологическая линия.

SYSTEM APPROACH TO CHOOSING A PRODUCTION METHOD FOR PRECAST REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

V. Yu. Gurinovich, P. I. Yuhnevskiy, S. N. Leonovich

Abstract

Improving the efficiency of prefabricated construction is in direct dependence on the technological level of the production base. The relevance of the introduction of innovative approaches and organizational and technological solutions for the production of products on the basis of lines with flexible technology is determined. The comparative analysis of technological lines with flexible technology is given. It is determined that the main criterion for choosing a production method is to achieve maximum efficiency of production organization taking into account individual characteristics of enterprises. The analysis of production methods at domestic enterprises is carried out. The non-system approach to the choice of production method in the reconstruction and modernization of enterprises is fixed. The model of the system approach to the choice of production method is developed, which substantiates the relevance of decision-making on the basis of analysis and synthesis of parameters of technological design and operation of production.

Keywords: prefabricated construction, precast construction plants, reconstruction, production of prefabricated reinforced concrete structures, organization of prefabricated reinforced concrete structures production, flexible production technology, pallet circulation line, bench technological line.

Введение

Повышение эффективности производственной базы индустриального домостроения является одной из наиболее острых проблем улучшения экономических показателей жилищного строительства. Теоретический анализ литературы показал, что в основе передовых организационно-технологических решений управления производством широкой номенклатуры изделий должны быть заложены принципы гибкой технологии [1–7].

Исследованиям совершенствования технологии и организации индустриального домостроения посвящены работы Ю. Б. Монфреда [8], А. М. Холкина [9], С. В. Николаева [10], К. А. Климкина [11], А. Н. Бастрыкина [12], Б. В. Гусева [13] и др. Однако, несмотря на значительный вклад приведенных работ, пока не определены рациональные подходы планирования, организации и управления производством с гибкой технологией.

Гибкую технологию производства можно охарактеризовать как организационно-технологический подход обеспечения изменения и расширения комплекта выпускаемой номенклатуры изделий или перехода на новую серию без капитальных затрат и остановки производства.

На современном этапе развития индустриального домостроения гибкая технология производства реализуется на базе стендовых линий, линий циркуляции паллет и кассетных установок со съемной бортоснасткой.

В отечественной практике для обеспечения гибкой технологией в индивидуальных формах были разработаны подходы разделения номенклатуры изделий на неизменяемую и изменяемую группы, создания специальных постов для переоснастки формовочного оборудования без остановки поточных линий, организации механизированных и автоматизированных складов бортоснастки, связанных с постами переоснастки и пр. [14]. Тем не менее, эти решения в полной мере не позволяли обеспечивать выпуск продукции соответствующего качества и гибко реагировать на потребность строительных организаций при возведении разнотипных домов.

Для решения задачи снижения металлоемкости производства при организации выпуска широкой номенклатуры изделий С. В. Николаевым [10] предлагалось решение комплексной переналаживаемой формы, конструкция которой позволяла бы выпускать всю номенклатуру изделий. Однако данная концепция не была практически реализована на предприятиях индустриального домостроения.

Развитие этой концепции было продолжено С. И. Полтавцевым [15] при исследованиях перспективных способов производства на основе унифицированных поддонов со сменной бортоснасткой. Однако и этот подход не был реализован, несмотря на его широкое применение в зарубежной практике.

При всей сложности гибкой технологии производства переход предприятий на такую форму практически решен за счет современных систем бортоснастки с магнитным креплением к палубе форм и поддонов. Исходя из вышесказанного, основным проблемным вопросом видится обоснование выбора способа производства на основе системного подхода с учетом индивидуальных особенностей технологических линий, которые определяют их эффективность на стадии эксплуатации и которые следует учитывать на стадии технологического проектирования для повышения эффективности производства.

Производственные линии с гибкой технологией

Производственный потенциал предприятий определяется долей технологических линий с высоким уровнем автоматизации и механизации процессов для выпуска широкой номенклатуры изделий. Прежде всего вышеперечисленным критериям соответствуют линии циркуляции паллет и стандовые линии с гибкой технологией производства.

Стандовый способ производства в отечественной практике индустриального домостроения применялся сугубо в модификациях кассетных установок для вертикального формования плоских изделий или стационарных установок для формования объемных элементов (шахт лифтов, вентблоков, блок-комнат и т. п.). Производство широкой номенклатуры изделий на длинных или коротких стандах не практиковалось ввиду низких показателей съема продукции с 1 м² производственной площади, высокой трудоемкости и крайне низкого уровня механизации и автоматизации производства. При этом рациональной областью применения стандовых линий считалось производство однотипных большепролетных и крупногабаритных конструкций, предварительно напряженных конструкций (подкрановые балки, фермы и т. п.).

Ограничения применения стандового способа связаны и с отсутствием в отечественной практике современных подходов, соответствующего технологического оборудования и оснастки для производства мелкосерийной продукции.

Гибкая технология на базе стандовой технологии реализуется на длинных или индивидуальных формовочных поддонах, стационарно размещенных в пролетах цеха. Конструктивно формовочные поддоны представляют собой 2-ярусную жесткую конструкцию (рисунок 1). На верхнем ярусе выполняется формование изделий, на нижнем ярусе расположены регистры тепловой обработки. Конфигурация формируемого изделия, оконные и технологические проемы определяются разделительными бортами и вкладышами, крепление которых к поверхности станда осуществляется магнитами.

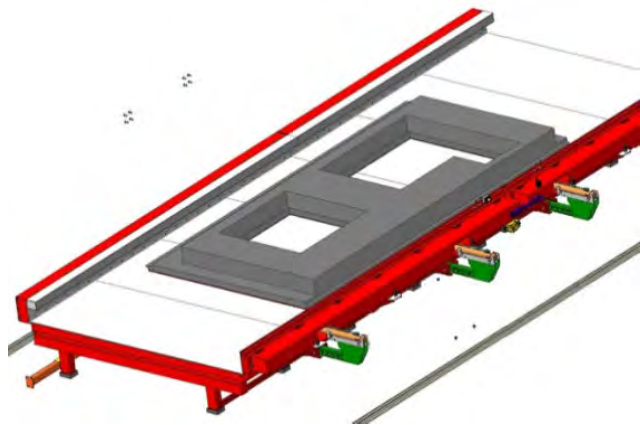


Рисунок 1 – Общий вид формовочного поддона стандовой производственной линии

Протяженность длинных стандовых линий устанавливается производственной программой выпуска изделий, а ширина – габаритами изделий. Размеры индивидуальных формовочных поддонов определяются габаритами изделий с учетом возможности одновременного формования нескольких изделий по длине, а их количество проектной производственной мощностью выпуска соответствующего типа изделий. Компановочные решения стандовой линии представлены на рисунке 2.

Проведен теоретический анализ и натурные исследования особенностей организации работы стандовых линий. Установлено, что одним из важнейших преимуществ стандовых производственных линий является возможность увеличения производительности, прежде всего за счет резервов дооснащения линий дополнительным оборудованием и трудовыми ресурсами в соответствии с планируемым ростом объемов выпуска продукции. Таким образом, стандовые линии позволяют организовать отдельные производственные участки в пределах одной линии при параллельной организации работ на этих участках.

При этом стандовые линии следует рассматривать как универсальную технологию, позволяющую организовать выпуск разнотипной продукции как по назначению, так и габаритам с ограничением по высоте бортоснастки.

В основу принципа работы линий циркуляции паллет заложен конвейерный способ производства (рисунок 3).

Характерной чертой данных производственных линий является возможность перемещения поддонов (паллет) между постами в поперечном и продольном направлениях в автоматическом режиме транспортной системой с замкнутым рабочим циклом. Обозначенная транспортная система позволяет организовать реверсивное перемещение паллет и проектировать многоветвевые линии для параллелизации производственных потоков. Такая свободная циркуляция паллет повышает надежность производства и снижает потери рабочего времени. Неполадки в одном месте цикла не приводят к остановке всей линии. Но обеспечение таких проектных решений требует большей универсальности, в том числе для систем управления производственным процессом.

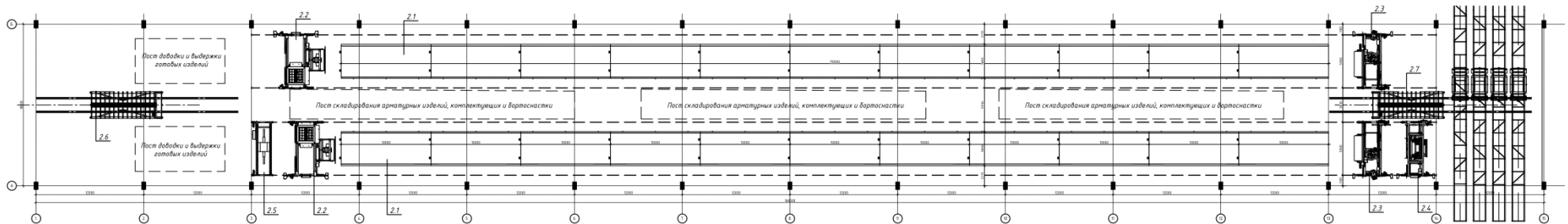
Дифференцирование линии на посты выполняется на основании директивного ритма, который определяется производственной программой предприятий.

Определено, что основным преимуществом линий циркуляции паллет является автоматизация и роботизация технологических процессов, в том числе армирования изделий. Опалубочные роботы на специализированных постах могут автоматически устанавливать продольные и поперечные элементы бортоснастки в соответствии с конфигурацией изделия. Увеличение производительности и снижение трудоемкости производства достигается за счет комплектации автоматическими линиями чистки и смазки бортоснастки, установками автоматической чистки и смазки паллет, конвейерами транспортировки между постами магнитов, деталей опалубки и т. п. Также обеспечена возможность автоматического нанесения контура изделий, проемов и мест установки закладных деталей.

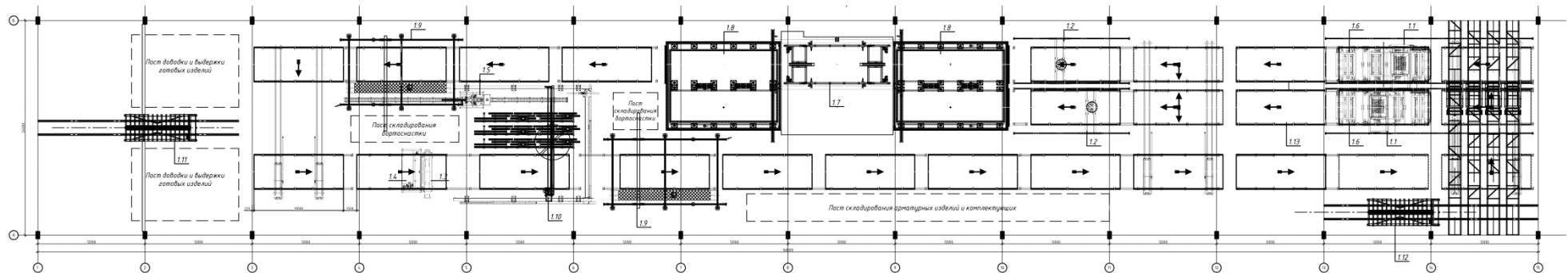
Тем не менее, приводя в сравнение стандовые производственные линии, следует отметить меньшую универсальность линий циркуляции паллет. Это обусловлено ограничениями габаритов выпускаемых изделий размерами ячеек камеры тепловлажностной обработки, что сокращает номенклатуру выпускаемых изделий. Также следует отметить зависимость эффективности производственных линий от ритмичности организации работ на постах и загрузки камер тепловлажностной обработки.

Анализ методических подходов выбора способа производства

Предпринята попытка систематизировать аспекты выбора способа производства при реконструкции и модернизации производственных баз индустриального домостроения на предприятиях Республики Беларусь (таблица 1). Графическое отображение данных приведено на рисунке 4.



2.1 – плоский стэнд в комплекте с системой тепловой обработки и уплотнения бетонной смеси; 2.2 – бетоноукладчик в комплекте с виброрейкой; 2.3 – лопастной заглаживатель; 2.4 – комбинированная установка для чистки, смазки стэндов и укрытия тентом; 2.5 – плоттер; 2.6, 2.7 – тележка самоходная
Рисунок 2 – Компоновочные решения стэндовых линий производства плит перекрытия



1.1 – бетоноукладчик в комплекте с виброрейкой; 1.2 – лопастной заглаживатель; 1.3 – установка смазки паллет; 1.4 – установка чистки паллет; 1.5 – установка чистки и смазки бортооснастки; 1.6 – станция уплотнения бетонной смеси; 1.7 – подъемник обслуживания камер тепловой обработки; 1.8 – камера тепловой обработки; 1.9 – кран балка для распалубки и установки бортооснастки; 1.10 – робот опалубочный; 1.11, 1.12 – тележка самоходная; 1.13 – паллета
Рисунок 3 – компоновочные решения линий производства плит перекрытия

Таблица 1 – Способы организации производства основных типов изделий

Наименование организаций	Проектная мощность, тыс. кв. м.	Тип изделий / Тип технологической линии		
		Наружные стеновые панели	Внутренние стеновые панели	Плиты перекрытия
КУП «Брестжилстрой»	150	линия циркуляции паллет, стендовая	кассетная, индивидуальные стенды	линия циркуляции паллет
КУП «Ганцевичский завод КПД»	70	стендовая	кассетная	стендовая
ГП «Витебский ДСК»	240	стендовая	кассетная, стендовая	конвейерная
ОАО «Трест № 16», г. Новополоцк	100	стендовая	кассетная	стендовая
ОАО «Гомельский ДСК»	200	линия циркуляции паллет	кассетная, линия циркуляции паллет	линия циркуляции паллет
ОАО «Светлогорский ДСК»	50	стендовая	кассетная	стендовая
ОАО «Мозырский ДСК»	70	стендовая	кассетная	стендовая
ОАО «Гродножилстрой»	250	линия циркуляции паллет	кассетная	конвейерная
РУП «Могилевский ДСК»	150	линия циркуляции паллет	кассетная	линия циркуляции паллет
ОАО «Бобруйский завод КПД»	150	линия циркуляции паллет	кассетная	конвейерная
КУП «ЗЭПК»	55	стендовая	кассетная	стендовая
КПД-1 ОАО «МАПИД»	280	конвейерная	кассетная	конвейерная
СУ-246 ОАО «МАПИД»	200	конвейерная	кассетная, конвейерная	линия циркуляции паллет, конвейерная
ПУ КПД-1 ОАО «МАПИД»	150	конвейерная	кассетная, конвейерная	конвейерная
ООО «Современные бетонные конструкции»	180	линия циркуляции паллет	линия циркуляции паллет	линия циркуляции паллет
ОАО «Солигорский ДСК»	150	линия циркуляции паллет	кассетная	линия циркуляции паллет
ОАО «Борисовжилстрой»	200	линия циркуляции паллет	линия циркуляции паллет	линия циркуляции паллет



Рисунок 4 – Распределение способов производства основных типов изделий на предприятиях индустриального домостроения

На основании данных таблицы 1 можно полагать, что критериями выбора способа производства служили объемы финансирования программы реконструкции и проектная мощность предприятия. Так, для предприятий проектной мощностью более 150 тыс. м² жилья в год приоритет отдавался линиям циркуляции паллет за исключением ГП «Витебский ДСК», а на предприятиях с проектной мощностью до 150 тыс. м² жилья в год были внедрены стендовые производственные линии. Данный факт подтверждает несистемный подход принятия решений при выборе способа производства с точки зрения учета параметров, определяющих эффективность производства.

Таким образом, подтверждена актуальность разработки модели системного подхода выбора способа производства с учетом производственной программы предприятий и параметров, определяющих эффективность производства.

Системный подход выбора способа производства

Теоретический анализ литературы показал, что для обеспечения эффективности перехода предприятий индустриального домостроения на новый технологический уровень требуется детальное изучение и систематизация опыта разработки, применения инновационных решений организации и управления производством на этапе строительно-монтажных работ и ввода в эксплуатацию [13,15–17].

Как показывает опыт принятия решений при выборе способов производства отдельный подход не содействует созданию высокотехнологичных предприятий, а локальный эффект, достигнутый от решения ряда задач на отдельной стадии, не всегда отвечает эффективности производства в целом [10].

На основании вышеизложенного предложена модель системного подхода выбора способа производства, которая обеспечивает взаимосвязь стадий проектирования и организации производства через потоки информации, отражающие отдельные решения организации эффективного производства (рисунок 5). В основе метода принят многофакторный анализ с учетом производственной мощности, трудоемкости, производственной площади, номенклатуры изделий и приведенной стоимости линий.

Как показано на рисунке 5, на стадии технологического проектирования прорабатываются решения наиболее рентабельного производства на базе эффективных способов организации производства и оптимальных решений компоновки производственных линий. При этом на стадии эксплуатации апробируются в производственных условиях принятая организационная структура и способы производства с достигнутыми режимами работы оборудования, уровнем складских запасов и графиками работы.



Рисунок 5 – Модель системного подхода выбора способа производства

Отсюда следует, что принятие решений на стадии технологического проектирования должно основываться на данных и опыте эксплуатации производств, в том числе имеющихся ресурсов. В свою очередь, решения на стадии эксплуатации должны базироваться на данных и решениях, принятых на стадии проектирования. То есть, информационные потоки организации производства должны быть замкнуты и взаимосвязаны.

С позиции системного подхода установление взаимосвязи между двумя стадиями организации производства является важнейшей задачей развития и освоения производственных мощностей предприятий и, как следствие, повышения эффективности всего индустриального строительного комплекса.

Заключение

Установлено, что основным решением производства постоянно растущей и изменяющейся номенклатуры изделий с заданными качественными показателями становится внедрение современных производственных линий и оборудования с гибкой технологией.

Проведенный теоретический анализ и натурные исследования особенностей организации работы станочных линий и линий циркуляции паллет определили их основные преимущества и недостатки. Станочные линии следует рассматривать как универсальную технологию, позволяющую организовать выпуск разнотипной продукции как по назначению, так и габаритам с ограничением по высоте бортоустойки. Но данные линии характеризуются более высокими показателями трудоемкости производства. Линии циркуляции паллет отличаются высоким уровнем автоматизации и роботизации технологических процессов, что определяет их преимущество по показателям трудоемкости и производительности. Тем не менее, более высокая стоимость оборудования делает данные линии менее эффективными с экономической точки зрения.

Переход предприятий индустриального домостроения на гибкую технологию производства требует разработки критериев выбора способа производства, производственной линии и соответствующего технологического оборудования с учетом обеспечения максимальной эффективности организации производства, индивидуальных особенностей предприятий и требований к уровню организации производства.

Установлено распределение способов производства основных типов изделий на предприятиях индустриального домостроения. Доля линий циркуляции паллет и станочных линий составляет 31 % и 24 % соответственно. Предпринята попытка систематизировать аспекты выбора способа производства при переходе предприятий на гибкую технологию производства. Результаты анализа определили несистемный подход принятия решений с точки зрения учета параметров, определяющих эффективность производства.

Определено, что основным критерием выбора способа производства и технологической линии является достижение максимальной эффективности организации производства с учетом индивидуальных особенностей предприятий. Основываясь на данном утверждении, приведена модель системного подхода выбора способа производства, которая обосновывает актуальность принятия решений на основе анализа и синтеза параметров технологического проектирования и эксплуатации производства.

Список цитированных источников

1. Wang, Z. Framework for modeling operational uncertainty to optimize offsite production scheduling of precast components / Z. Wang, H. Hu, J. Gong // Automation in Construction. – 2018. – Vol. 86. – P. 69–80. – <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.026>.
2. Wang, Z. RFID enabled knowledge-based precast construction supply chain, computer-aided civil and infrastructure, Engineering / Z. Wang, H. Hu, W. Zhou // Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering. – 2017. – Vol. 32, Iss. 6. – P. 499–514. – <https://doi.org/10.1111/mice.12254>.
3. Optimization of Flow Shop Scheduling in Precast Concrete Component Production via Mixed-Integer Linear Programming / Z. Liu [et al.] // Advances in Civil Engineering. – 2021. – Vol. 2021. – 14 p. – <https://doi.org/10.1155/2021/6637248>.
4. Liu, Z. Integrated scheduling of ready-mixed concrete production and delivery / Z. Liu, Y. Zhang, M. Li // Automation in Construction. – 2014. – Vol. 48. – P. 31–43. – <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.08.004>.
5. Li, X. Lean precast production system based on the CONWIP method / X. Li, Z. Li, G. Wu // KSCE Journal of Civil Engineering. – 2018. – Vol. 22. – P. 2167–2177. – <https://doi.org/10.1007/s12205-017-2009-4>.

6. Research on Lean Planning and Optimization for Precast Component Production Based on Discrete Event Simulation / Z. Yuan [et al.] // *Advances in Civil Engineering*. – 2020. – Vol. 2020, Iss. 1. – P. 1–14. – <https://doi.org/10.1155/2020/8814914>.
7. Algorithms for in-situ production layout of composite precast concrete members / W. Hong [et al.] // *Automation in Construction*. – 2014. – Vol. 41. – P. 50–59. – <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.005>.
8. Монфред, Ю. Б. Организация, планирование и управление предприятиями стройиндустрии: учебник для вузов по специальности «Производство строительных изделий и конструкций» / Ю. Б. Монфред, Б. В. Прыкин. – М. : Стройиздат, 1989. – 506 с.
9. Холкин, А. М. Методические вопросы совершенствования оперативно-производственного планирования в крупнопанельном домостроении : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.24 / А. М. Холкин. – Л., 1985. – 175 с.
10. Николаев, С. В. Оптимизация проектных и производственных решений технологии производства изделий крупнопанельного домостроения : дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.08 / С. В. Николаев. – М., 1981. – 399 с.
11. Климин, К. А. Методические основы оценки использования производственных мощностей домостроительных предприятий в условиях инвестиционного спада : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.05 / К. А. Климин. – Хабаровск, 1998. – 143 с.
12. Бастрыкин, А. Н. Организация промышленных предприятий строительной индустрии : учебник / А. Н. Бастрыкин. – М. : Высш. школа, 1975. – 248 с.
13. Гусев, Б. В. Автоматизированные технологические линии по производству сборного железобетона / Б. В. Гусев. – Ижевск : Издательский дом «КИТ», 2015. – 70 с.
14. Технология строительного производства и охрана труда: учеб. пособие для вузов / А. П. Коршунова [и др.] ; под общ. ред. Г. Н. Фомина. – М. : Архитектура-С, 2007. – 375 с.
15. Граник, Ю. Г. Реконструкция и техническое перевооружение предприятий полносборного домостроения / Ю. Г. Граник, С. И. Полтавцев. – М. : Стройиздат, 1989. – 271 с.
16. Ищенко, А. С. Особенности формирования выбора организационно-технологических решений реконструкции действующих промышленных предприятий / А. С. Ищенко, В. И. Доненко, М. П. Марченко // *Вестник Приднестровской государственной академии строительства и архитектуры*. – 2019. – № 5. – С. 257–258.
17. Джалилов, Ф. Ф. Разработка методов формирования организационно-технологических решений по реконструкции действующих предприятий : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.08 / Ф. Ф. Джалилов. – М., 1996. – 356 с.
3. Optimization of Flow Shop Scheduling in Precast Concrete Component Production via Mixed-Integer Linear Programming / Z. Liu [et al.] // *Advances in Civil Engineering*. – 2021. – Vol. 2021. – 14 p. – <https://doi.org/10.1155/2021/6637248>.
4. Liu, Z. Integrated scheduling of ready-mixed concrete production and delivery / Z. Liu, Y. Zhang, M. Li // *Automation in Construction*. – 2014. – Vol. 48. – P. 31–43. – <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.08.004>.
5. Li, X. Lean precast production system based on the CONWIP method / X. Li, Z. Li, G. Wu // *KSCE Journal of Civil Engineering*. – 2018. – Vol. 22. – P. 2167–2177. – <https://doi.org/10.1007/s12205-017-2009-4>.
6. Research on Lean Planning and Optimization for Precast Component Production Based on Discrete Event Simulation / Z. Yuan [et al.] // *Advances in Civil Engineering*. – 2020. – Vol. 2020, Iss. 1. – P. 1–14. – <https://doi.org/10.1155/2020/8814914>.
7. Algorithms for in-situ production layout of composite precast concrete members / W. Hong [et al.] // *Automation in Construction*. – 2014. – Vol. 41. – P. 50–59. – <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2014.02.005>.
8. Monfred, YU. B. Organizaciya, planirovanie i upravlenie predpriyatiyami strojindustrii: uchebnik dlya vuzov po special'nosti «Proizvodstvo stroitel'nyh izdelij i konstrukcij» / YU. B. Monfred, B. V. Prynkin. – M. : Strojizdat, 1989. – 506 s.
9. Holkin, A. M. Metodicheskie voprosy sovershenstvovaniya operativno-proizvodstvennogo planirovaniya v krupnpanel'nom domostroenii : dis. ... kand. ekon. nauk : 08.00.24 / A. M. Holkin. – L., 1985. – 175 s.
10. Nikolaev, S. V. Optimizaciya proektnyh i proizvodstvennyh reshenij tekhnologii proizvodstva izdelij krupnpanel'nogo domostroeniya : dis. ... d-ra tekhn. nauk : 05.23.08 / S. V. Nikolaev. – M., 1981. – 399 s.
11. Klimkin, K. A. Metodicheskie osnovy ocenki ispol'zovaniya proizvodstvennyh moshchnostej domostroitel'nyh predpriyatij v usloviyah investicionnogo spada : dis. ... kand. ekon. nauk : 08.00.05 / K. A. Klimkin. – Habarovsk, 1998. – 143 s.
12. Bastrykin, A. N. Organizaciya promyshlennyh predpriyatij stroitel'noj industrii : uchebnik / A. N. Bastrykin. – M. : Vyssh. shkola, 1975. – 248 s.
13. Gusev, B. V. Avtomatizirovannye tekhnologicheskie linii po proizvodstvu sbornogo zhelezobetona / B. V. Gusev. – Izhevsk : Izdatel'skij dom «KIT», 2015. – 70 s.
14. Tekhnologiya stroitel'nogo proizvodstva i ohrana truda: ucheb. posobie dlya vuzov / A. P. Korshunova [i dr.] ; pod obshch. red. G. N. Fomina. – M. : Arhitektura-S, 2007. – 375 s.
15. Granik, YU. G. Rekonstrukciya i tekhnicheskoe perevooruzhenie predpriyatij polosbornogo domostroeniya / YU. G. Granik, S. I. Poltavcev. – M. : Strojizdat, 1989. – 271 s.
16. Ishchenko, A. S. Osobennosti formirovaniya vybora organizacionno-tekhnologicheskikh reshenij rekonstrukcii dejstvuyushchih promyshlennyh predpriyatij / A. S. Ishchenko, V. I. Donenko, M. P. Marchenko // *Vestnik Pridneprovskoj gosudarstvennoj akademii stroitel'stva i arhitektury*. – 2019. – № 5. – S. 257–258.
17. Dzhallilov, F. F. Razrabotka metodov formirovaniya organizacionno-tekhnologicheskikh reshenij po rekonstrukcii dejstvuyushchih predpriyatij : dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.23.08 / F. F. Dzhallilov. – M., 1996. – 356 s.

References

1. Wang, Z. Framework for modeling operational uncertainty to optimize offsite production scheduling of precast components / Z. Wang, H. Hu, J. Gong // *Automation in Construction*. – 2018. – Vol. 86. – P. 69–80. – <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.10.026>.
2. Wang, Z. RFID enabled knowledge-based precast construction supply chain, computer-aided civil and infrastructure, Engineering / Z. Wang, H. Hu, W. Zhou // *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. – 2017. – Vol. 32, Iss. 6. – P. 499–514. – <https://doi.org/10.1111/mice.12254>.

Материал поступил 23.04.2024, одобрен 04.06.2024, принят к публикации 04.06.2024