

На правах рукописи



Мещеряков Александр Сергеевич

**Организационно-технологические решения формирования
крупногабаритных модулей в условиях производственной базы**

2.1.7 – Технология и организация строительства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет».

Научный руководитель:

Доктор технических наук, профессор

Лapidус Азарий Абрамович

Официальные оппоненты:

Маилян Александр Леонович –

доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», кафедра «Городское строительство и хозяйство», профессор

Молодин Владимир Викторович –

доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)», кафедра «Технологии и организации строительства», заведующий кафедрой

Ведущая организация:

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет»

Защита состоится 27 марта 2025 г. в 11:00 (по местному времени) на заседании диссертационного совета 24.2.339.06, созданного на базе ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет», по адресу 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26, Зал Ученого Совета.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» и на сайте www.mgsu.ru

Автореферат разослан «__» _____ 2025 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета



Коротеев Дмитрий Дмитриевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования.

Одной из главных задач развития промышленного производства в области строительства является коренная модернизация существующих мощностей действующих предприятий, а также возведения новых промышленных комплексов, комбинатов по массовому выпуску продукции из сборного железобетона, конструкций и других различных современных строительных материалов с целью получения готовых элементов зданий с применением новейших технологий в строительстве в условиях заводского производства. Необходимо достигнуть максимальных возможностей в технологическом обеспечении строительных площадок элементами заводской готовности для возведения зданий на объектах строительства с целью резкого снижения сроков и повышения качества работ.

Достижение национальной цели по улучшению жилищных условий и качества городской среды возможно при увеличении объема жилищно-гражданского строительства. Объемы строительного производства возможно увеличивать за счет применения новых технологий строительного производства. К существующим в настоящее время традиционным способам производства, возведения жилых и общественных зданий из сборного железобетона и монолита пришло время активно развивать новейший способ возведения зданий из объемных блоков и модулей высокой или полной заводской готовности. Не все объекты возможно строить из модулей, однако, процент увеличения объемов строительства по новой технологии можно и нужно резко увеличивать.

Использование передовых роботизированных технологий в области строительного производства является актуальным вектором развития строительного сектора, серьезным образом, влияющим на темпы строительства зданий и сооружений практически любого назначения. Увеличение скорости строительства зданий, в частности в железобетонном исполнении, возможно путем организации производства крупногабаритных объемных элементов здания высочайшей заводской готовности (до 85% и выше), при котором значительная часть строительного-монтажных работ переносится со строительной площадки на производственную базу. Организации производства таких крупногабаритных модулей предшествует разработка новых организационно-технологических решений их формирования в условиях производственной базы.

Степень разработанности темы исследования. В диссертационной работе проанализированы различные аспекты разработки организационно-технологических решений формирования объемных блоков и модулей в условиях производственной базы промышленного предприятия в работах ведущих советских, российских и зарубежных ученых и специалистов, в том числе:

Амбарцумяна С.А., Манукяна А.В., Цыцина С.В., Мкртычева О.В., Аргунова С.В., Караулова В.П., Киевского Л.В., Король Е.А., Ладовского И.А., Лapidуса А.А., Маиляна А.Л., Мищенко В.Я., Молодина В.В., Олейника П.П., Пахомовой Л.А., Скачкова И.А., Степанова И.В., Черненко В.К., Шаленного В.Т., Шапиро В.Д., Шепелева А.Л., Moshe Safdie, Kisho Kurokawa, Jan Komoski и др.

Цель диссертационной работы заключается в разработке организационно-технологических решений формирования крупногабаритных модулей в условиях производственной базы для жилищно-гражданского строительства.

Для достижения поставленной цели сформулированы и решались следующие задачи:

- анализ существующего опыта индустриального строительства модульных конструкций;
- обобщение существующих способов и особенностей сокращения длительности производственного цикла в условиях производственной базы;
- исследование организационно-технологических решений формирования крупногабаритных модулей в условиях производственной базы;
- разработка рациональных решений, алгоритмов и модели имитационного моделирования формирования крупногабаритных модулей по принципу вытягивающего производства «точно вовремя»;
- разработка методики расчета параметров формирования крупногабаритных модулей в условиях производственной базы;
- внедрение методики расчета параметров формирования крупногабаритных модулей в условиях производственной базы.

Объектом исследования является производственная база формирования крупногабаритных модулей.

Предметом исследования являются организационно-технологические решения формирования крупногабаритных модулей в условиях производственной базы.

Научно-техническая гипотеза заключается в предположении, что создается принципиальная схема формирования крупногабаритных модулей в условиях производственной базы при использовании имитационной модели, построенной по принципу «точно вовремя».

Научную новизна работы состоит в следующем:

- установлено условие существования и синхронизации поточных линий при формировании крупногабаритных модулей в условиях производственной базы с определением их организационно-технологических параметров и с учетом неравномерной загрузки параллельных линий;

- впервые разработаны организационно-технологические решения формирования крупногабаритных модулей в условиях производственной базы;
- впервые разработаны алгоритмы имитационного моделирования формирования крупногабаритных модулей по принципу вытягивающего производства «точно вовремя», включающие в себя все этапы производства от формовки панелей до отделки с заделом на увязку со вспомогательным производством входящих комплектующих;
- разработана методика расчета параметров формирования крупногабаритных модулей в условиях производственной базы.

Теоретическая значимость работы заключается в развитии методологии организационно-технологического и имитационного моделирования нового направления изготовления крупногабаритных модулей в условиях производственной базы за счет установления закономерности синхронного взаимодействия производственных поточных конвейерных линий, обеспечивающих в конечном счете возможность сокращения длительности производственного цикла и трудоемкости работ.

Практическая значимость работы состоит в разработке и апробации методики расчета параметров формирования крупногабаритных модулей в условиях производственной базы на поточных конвейерных линиях, основанной на синхронизации поточных линий формовки панелей, сборки и отделки модулей в условиях ограниченной производственной площади и расчете организационно-технологических параметров производства, спрогнозированных по данным экспериментального производства. В результате на этапе освоения серийного производства крупногабаритных модулей в условиях производственной базы данная методика может использоваться при формировании и выборе плана производства, а также при составлении и оптимизации долгосрочных и среднесрочных календарных производственных программ для обеспечения национальных целей индустриального строительства.

Результаты работы по выпуску крупногабаритных модулей, увязке производственных потоков конвейерных линий, определению численности и загрузки производственных рабочих позволяют автоматизировать весь процесс моделирования производства и в конечном итоге управлять себестоимостью производства.

Методология и методы исследования. Методологической базой диссертационного исследования послужили работы отечественных и зарубежных ученых и специалистов в области организации строительного производства и технологии строительно-монтажных работ, а также организационно-технологического моделирования.

Положения, выносимые на защиту:

- организационно-технологические решения формирования крупногабаритных модулей;
- методика расчета параметров формирования крупногабаритных модулей в условиях производственной базы;
- способ валидации расчетных параметров при проектировании производственной базы для формирования крупногабаритных модулей.

Степень достоверности результатов.

Представленные в диссертации результаты исследований, выводы и заключение подтверждаются научной и нормативно-технической документацией, обобщением исследований зарубежных и отечественных специалистов, использованием данных производственных экспериментов, применением общепризнанных математических моделей, накопленной практикой разработки и принятия организационно-технологических решений в строительстве.

Апробация результатов работы.

Основные результаты исследования докладывались на международных, российских и ведомственных научных конференциях и семинарах, в числе которых Вторая национальная конференция «Актуальные проблемы строительной отрасли и образования» (2021г.), XII Международная научно-практическая конференция InterConPan-2022 «Инновации для индустриального домостроения», День Строительства в рамках Международной выставки-форума «Россия» (2024 г.), X Международной научно-практической конференции кафедр организационно-технологического профиля строительных университетов «Технологии, организация и управление в строительстве – 2024» (ТОМиС-2024), на заседаниях научно-технических советов НИУ МГСУ.

Личный вклад автора заключается в постановке задач исследования, установлении условия существования и синхронизации поточных линий, разработке организационно-технологических решений и алгоритмов имитационного моделирования формирования крупногабаритных модулей в условиях производственной базы по принципу вытягивающего производства «точно вовремя», разработке методики расчета параметров формирования крупногабаритных модулей в условиях производственной базы, Разработанная методика внедрена при реализации производственной базы ООО «Комбинат Инновационных Технологий-МонАрх». Разработаны и внедрены организационно-технологические решения и методика при реализации производственной базы ООО «Комбинат Инновационных Технологий-МонАрх». Сформулированы выводы, а также перспективы разработок по теме диссертационного исследования. Сформулированы выводы, а также перспективы разработок по теме

диссертационного исследования. Автор принимал участие в разработке стандарта организации ООО «Комбинат Инновационных Технологий-МонАрх» «Проектирование, изготовление, транспортирование и строительство. Правила, контроль выполнения и требования к результатам работ», Свода правил СП 501.1325800.2021 «Здания из крупногабаритных модулей» и изобретений, оформленных семи патентами на изобретения, зарегистрированными в порядке, установленном законодательством Российской Федерации.

Положения, выносимые на защиту:

- организационно-технологические решения формирования крупногабаритных модулей;
- методика расчета параметров формирования крупногабаритных модулей в условиях производственной базы;
- способ валидации расчетных параметров при проектировании производственной базы для формирования крупногабаритных модулей.

Публикации. Материалы диссертации достаточно полно изложены в 10 научных публикациях, из которых 3 работы опубликованы в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (Перечень рецензируемых научных изданий), и 7 патентов на изобретения зарегистрированы в установленном порядке.

Соответствие паспорту научной специальности.

Содержание диссертации соответствует пунктам 1 и 3 паспорта научной специальности 2.1.7 Технология и организация строительства:

п.1: Прогнозирование и оптимизация параметров технологических процессов и систем организации строительства и его производственной базы, повышение организационно-технологической надежности строительства. Разработка параметров системы управления инвестиционно-строительными проектами.

п.3: Разработка новых и совершенствование существующих методов и организационных форм жилищно-гражданского, промышленного, коммунального, энергетического, транспортного и других видов строительства (реконструкции). Разработка новых организационных форм строительства (реконструкции) технически сложных, особо опасных и уникальных объектов с учетом особенностей конструктивных решений и технологий строительно-монтажных работ.

Структура и объем работы. Диссертационная работа включает в себя введение, 4 главы, заключение, список литературы. Общий объем работы составляет 138 страниц основного текста, в том числе 44 рисунка и 10 таблиц, и 9 страниц приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, сформулированы цель диссертационной работы, основные задачи, объект и предмет исследования, методология и методы исследования, научно-техническая гипотеза, научная новизна, теоретическая и практическая значимость, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов.

Первая глава посвящена обзору тенденции модульного домостроения, анализу опыта строительства предприятий и производственных баз по формированию модулей, а также обзору существующих способов и особенностей сокращения длительности производственного цикла в условиях производственной базы.

Проведенный обзор тенденций строительства в Российской Федерации показал, что в настоящее время основной тенденцией является наращивание темпов индустриального строительства не менее чем 120 млн. кв. м в год. Это возможно в том числе за счет использования модульного строительства, которое позволяет сократить сроки реализации проектов застройки на 20...50% по сравнению с традиционным строительством.

Обзор и анализ традиционных способов производства модульных конструкций из железобетона показал, что существующие в мире общепринятые серийно производимые модульные конструкции объемно-блочного (модульного) строительства, как монолитные по типу «колпак» или «стакан», так и составные, не превышают по площади 20 кв. м, что не может в полной мере удовлетворить потребности государства.

Для принятия решения о способе серийного производства крупногабаритных модулей проведен обзор традиционных конвейерных технологий производства модульных конструкций из железобетона, который показал, что для производства крупногабаритных модулей в условиях производственной базы необходима разработка новых технологической и организационной схем производства.

Проведен обзор и анализ мирового опыта способов сокращения длительности производственного цикла, который показал, что для серийного производства, когда есть необходимость минимизации расходов, предпочтительно использовать принцип вытягивающего производства по принципу «точно вовремя», являющийся ключевым принципом современного бережливого производства. Для оценки работоспособности закладываемых при проектировании производственной базы организационно-технологических решений формирования крупногабаритных модулей применимо имитационное моделирование, в основу которого закладывается указанный принцип.

Во второй главе проведено исследование рациональной технологии производства крупногабаритных модулей и способ ее организации в условиях производственной базы.

Анализ конструкции крупногабаритного модуля и требований, предъявляемых к входящим в него элементам, показал, что в целом, конструкция является технологичной в изготовлении при наличии соответствующих технологий на производстве, не требует специальных условий для изготовления, технического обслуживания и ремонта. Под специальными условиями подразумевается потребность при обслуживании и ремонте в уникальном узкоспециализированном оборудовании и отдельных компетенциях рабочих. Таким образом, можно сделать вывод о том, что поточный способ производства крупногабаритных модулей в условиях производственной базы на конвейерной линии применим.

С целью развития технологии получения сборных строительных изделий разработана технологическая схема производства, которая включает в себя полный производственный цикл от момента сборки-формовки железобетонных панелей и сборки конструкции модуля до его отделки (Рисунок 1, 2). Схема отражает все необходимые производственные этапы, в том числе естественные процессы, такие как сушка и остывание изделий, а также иллюстрирует наглядно каким образом можно разделить производство на соответствующие производимым работам переделы: формовка панелей, комплектация, сборка модуля, отделка.

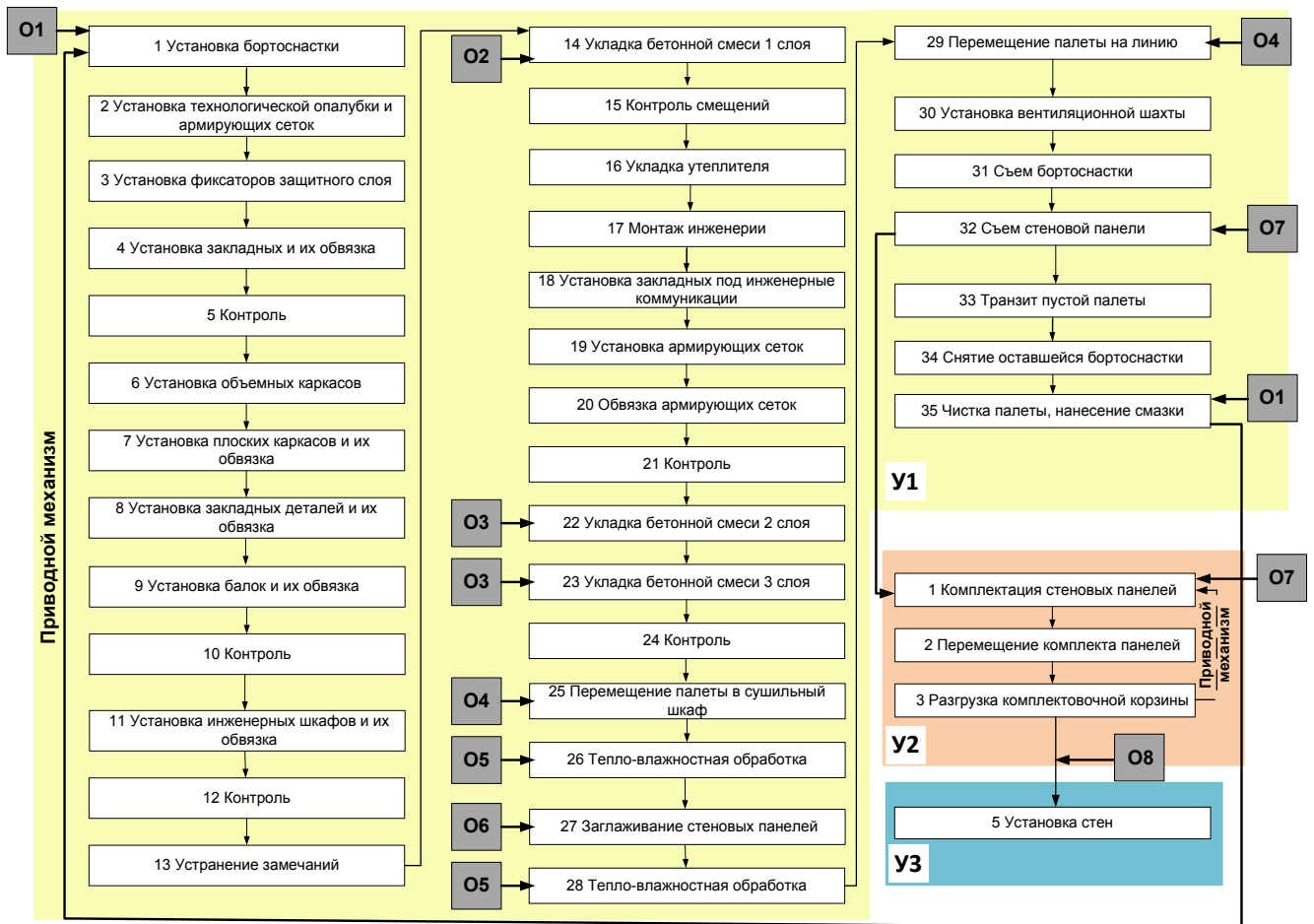


Рисунок 1 – Технологическая схема участка формовки плоских стеновых панелей и склада комплектации

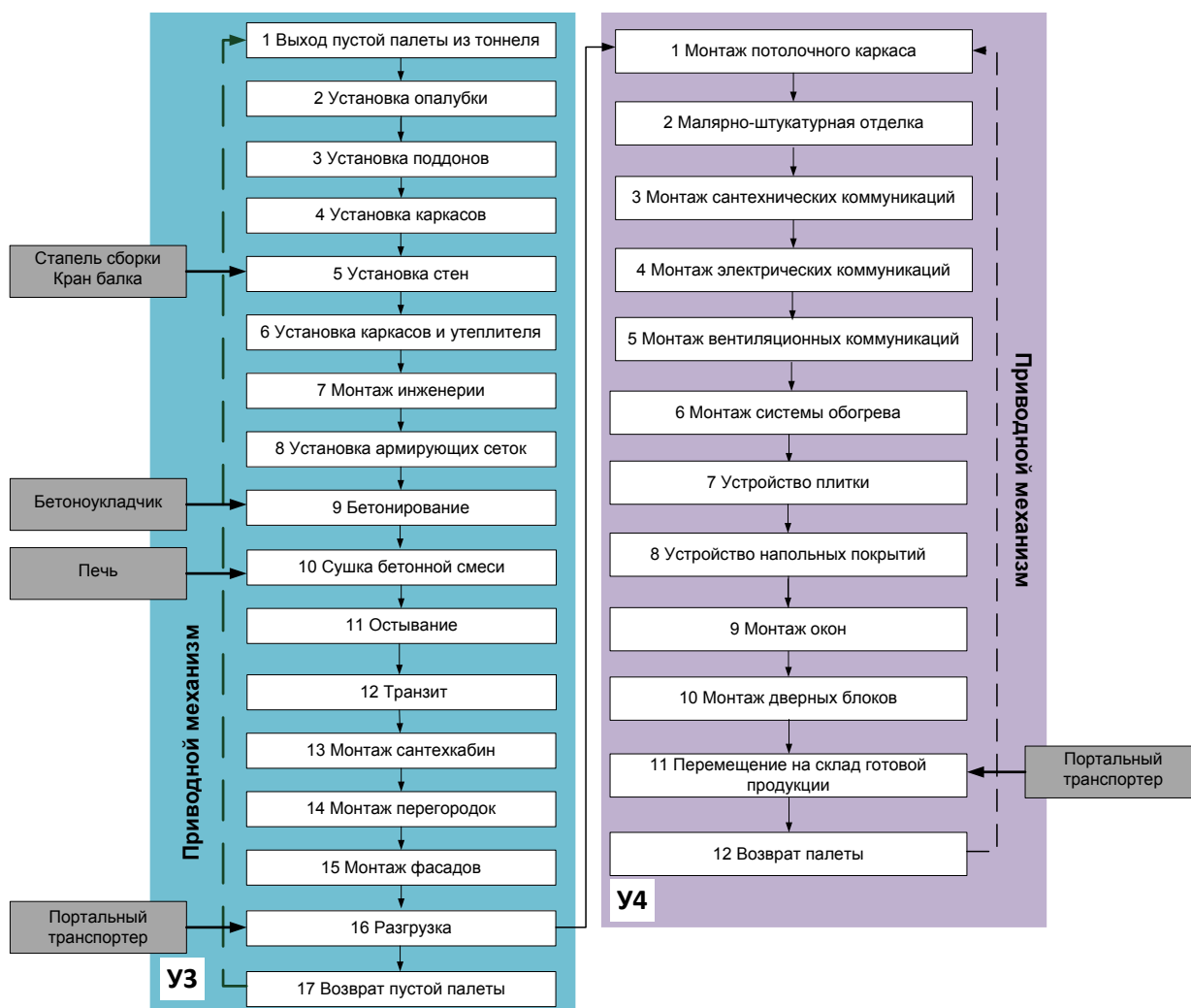


Рисунок 2 – Технологическая схема участков сборки и отделки

Третья глава посвящена разработке алгоритма имитационного моделирования и формированию методики расчета параметров формирования крупногабаритных модулей в условиях производственной базы по принципу вытягивающего производства «точно вовремя».

Разработке математической имитационной модели производства предшествует принятие схемы имитационного моделирования, а также разработка математической модели расчета параметров высокоскоростного производства крупногабаритных модулей в условиях производственной базы по принципу вытягивающего производства «точно вовремя».

Укрупненная схема имитационного моделирования производства крупногабаритных модулей по принципу вытягивающего производства «точно вовремя» представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 – Укрупненная схема имитационного моделирования производства

Запись математического условия реализации поточного формирования крупногабаритных модулей на конвейерной линии предлагается в виде:

$$\exists x \cap \exists y \cap \exists z, P(x, y, z), \quad (1)$$

где $P(x, y, z)$ – условие существования потока;

x – требуемое соотношение технологического времени на рабочих местах и количества рабочих мест;

y – требуемое соотношение времени перемещения изделий по потоку и технологического времени на рабочем месте;

z – существование схемы потока, позволяющей реализовать требуемые условия.

Если предположить, что разработанный проект конвейерного производства позволяет реализовать сложную схему движения потоков, то

$$T_T = f(T_{\text{тех}}, T_{\text{пер}}), \quad (2)$$

где T_T – время такта;

$T_{\text{тех}}$ – технологическое время;

$T_{\text{пер}}$ – время перемещения.

Отсюда,

$$T_{\text{тех}} = f(T_T, T_{\text{пер}}). \quad (3)$$

Неравномерной загрузкой участка конвейерной линии назовем случай, когда программа выпуска изделий включает конструктивные исполнения продукции, значительно отличающиеся по трудоемкости работ на данном участке. Это может приводить к тому, что длительность технологического цикла в «узких» местах будет значительно отличаться от базовой. Графическая интерпретация участка конвейера с неравномерной загрузкой, при которой на первой линии находится n рабочих мест, а на второй m рабочих мест, приведена на рисунке 4. По данному принципу принята технологическая схема линий сборки и конвейера отделки, при

котором конвейер разветвляется на две или три линии. На конвейере сборки на двух линиях предусмотрено изготовление типовых модулей, а на третьей – нетиповых и тяжелых модулей.

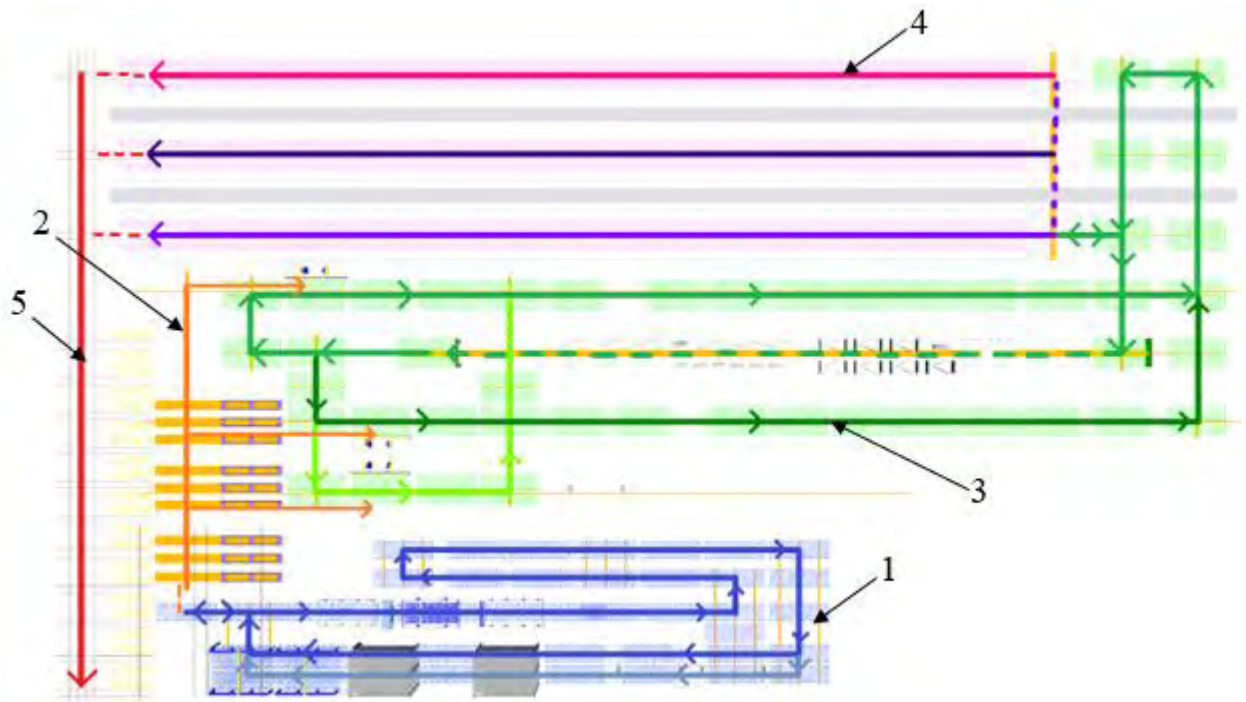


Рисунок 4 – Окончательная схема распределения производственных потоков по линиям: 1 – синий – линия формовки; 2 – оранжевый – склад панелей; 3 – зелёный – линия сборки; 4 – фиолетовый – линия отделки; 5 – красный – склад готовой продукции

Неравномерная загрузка поточных линий может быть характеризована через отношение изделий, выходящих с линии за установленное время – приведенный цикл. То есть приведенный цикл – время, за которое с каждой из рассматриваемых параллельных линий выходит минимальное целое число изделий.

В таком случае условие существования потока для участка конвейера, состоящего из двух линий с неравномерной загрузкой, определяется выражением.

$$T_{\tau} = \frac{\sum_i^n (T_{\text{тех } i} + T_{\text{пер } i})}{n \left(\frac{a_1}{a_1 + a_2} \right)} = \frac{\sum_j^m (T_{\text{тех } j} + T_{\text{пер } j})}{m \left(\frac{a_2}{a_1 + a_2} \right)}, \quad (4)$$

где $T_{\text{тех } i}$ – технологическое время на i -м рабочем месте первой линии;

$T_{\text{пер } i}$ – время перемещения на i -м рабочем месте первой линии;

n – количество рабочих мест на первой линии;

$T_{\text{тех } j}$ – технологическое время на j -м рабочем месте второй линии;

$T_{\text{пер } j}$ – время перемещения на j -м рабочем месте второй линии;

m – количество рабочих мест на второй линии;

a_1 – количество изделий, выходящих с первой линии за приведенный такт (установленное время);

a_2 – количество изделий, выходящих со второй линии за приведенный такт (установленное время).

Аналитическое решение задачи целесообразно только при выполнении условий, описанных выше. Непостоянство указанных параметров, в первую очередь времени перемещения между рабочими станциями, которое в условиях строительного производства может значительно различаться в зависимости от способа перемещения, а также расстояния, на которое осуществляется перемещение, делает аналитическое решение задачи определения длительности технологических циклов сложно осуществимой.

Однако при организации поточной конвейерной технологии производства необходимо уже на этапе проектирования производства иметь возможность проследить неразрывную связь на всех производственных этапах и управлять ею. И, поскольку аналитическое решение задачи представляется сложным и трудоёмким процессом, с достаточной точностью провести расчет можно с помощью создания имитационной модели будущего производства, которая в дальнейшем может быть развита до уровня цифрового двойника. Основная задача имитационной модели еще на ранних этапах проектирования производства ответить на вопрос «а что, если?» путем проведения виртуальных испытаний. Такой подход к проектированию значительно снижает издержки предприятия на стадии запуска и отладки производства.

С учетом вышеизложенного, разработаны алгоритмы функционирования имитационных подмоделей. В упрощенном виде подмодель линии формовки стеновых панелей представляет собой совокупность следующей цепочки событий: запуск модели (работы линии), подготовка работы модели, начало цикла движения паллет, заполнение рабочих мест линии паллетами согласно заданной последовательности рабочих мест, конец цикла движения паллет поле прохождения последнего рабочего места линии, возвращение к началу цикла движения, имитирующее повторный запуск цикла движения паллет и их циркуляции по всей линии формовки стеновых панелей. Особенностью данной подмодели является наличие элементов, время работы которых не зависит от времени такта, т. е. от глобальной переменной, а является условно постоянной величиной, зависящей от технологии и характеристик оборудования. Особенностью аналогично выстроенной подмодели участка комплектации стеновых панелей является условие заполнение транспортирующего устройства (корзины) изделиями (стеновыми панелями) и передачи изделий на линии сборки модулей в соответствии с движением потока. На рисунках 5 и 6 представлены разработанные алгоритмы имитационных подмоделей линии формовки и комплектации стеновых панелей.

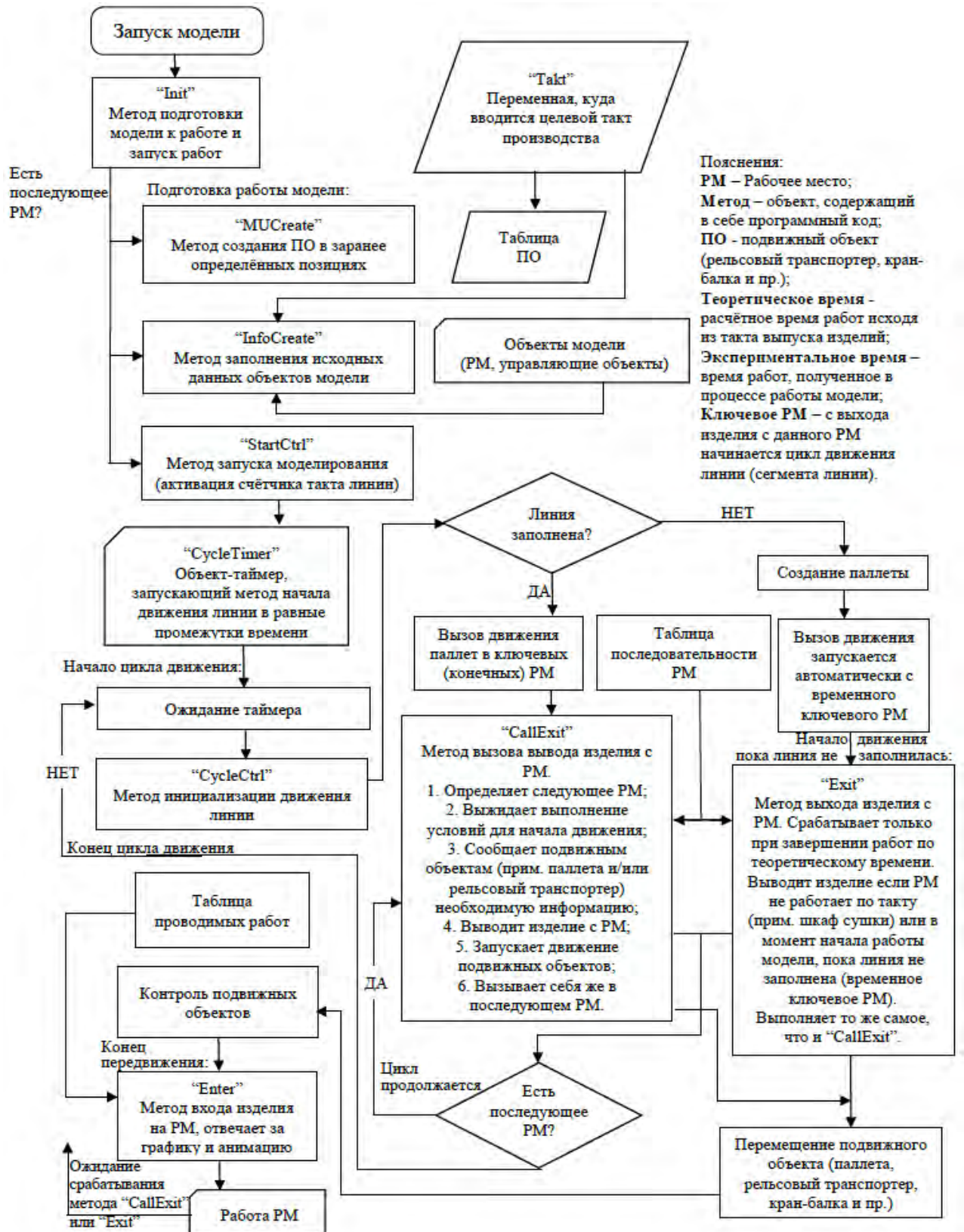
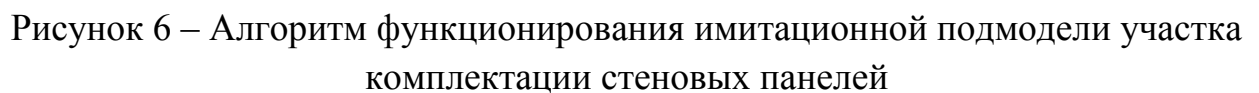


Рисунок 5 – Алгоритм функционирования имитационной подмодели линии
формовки стеновых панелей



В диссертационном исследовании представлены также алгоритмы функционирования имитационной подмодели линии сборки модулей и формовки пола и подмодели линии отделки модулей, построенные по аналогии с представленными выше алгоритмами. Подмодели в конечном итоге объединены в единую имитационную модель поточного конвейерного производства крупногабаритных модулей.

После увязки элементов подмоделей между собой и отладке общей имитационной модели было выявлено и устранено несколько проблемных мест, затрудняющих реализацию поточного принципа производства.

Определены следующие основные семь этапов методики расчета параметров формирования крупногабаритных модулей в условиях производственной базы:

1 этап. Сбор исходных данных, включая информацию о конструктивном составе модулей, а также укрупненную схему производства модуля, годовую программу выпуска и тип производства.

2 этап. Определение времени технологических процессов, предполагающее замер и фиксацию всех без исключения затрат рабочего времени у одного или нескольких рабочих на протяжении полной рабочей смены или некоторой ее части.

Для определения времени процессов необходимо провести работы по хронометражу через фотографию рабочего времени, проанализировать полученные результаты и выделить, собственно, трудоемкость процессов по всем переделам (этапа производства): фактически затраченную (пессимистичный сценарий), чистую трудоемкость без разного рода потерь (оптимистичный сценарий) и некоторую усредненную трудоемкость, как наиболее реалистичный вариант развития событий. Полученные таким образом значения трудоемкостей справедливы для одного модуля, производимого на экспериментальном заводе, и соответствуют начальному (экспериментальному) этапу поточного производства – стадии отработки технологии.

3 этап. Расчет количества рабочих мест, на которых в операциях задействованы основные производственные рабочие (например, укладка арматурных каркасов, сеток, монтаж стеновых панелей и т.п.). Количество рабочих мест на серийном производстве определяется на базе трудовых затрат и годовой программы выпуска модулей.

Для определения прогнозируемых трудовых затрат в условиях серийного производства возможно использование модели среднего совокупного или Модели Райта и его 20%-кривой удельных затрат в следующей зависимости:

$$Y = aX^b \quad (5)$$

где Y – совокупная средняя трудоемкость изготовления одного модуля, ч.-час;

X – совокупное количество произведенных модулей;

a – трудоемкость изготовления экспериментального модуля;

b – наклон функции, полученный как логарифм уровня обучения ($\log 0,8$) деленный на $\log 2$ и равный, $b = -0.32196$.

4 Этап. Расчет количества рабочих. Количество рабочих по переделам определяется как произведение принятого количества рабочих мест, количества рабочих смен в сутки и коэффициента загрузки рабочего места на переделе. Общее количество рабочих определяется как сумма количества рабочих по переделам.

5 этап. Построение цикловых графиков. Строятся общий цикловой график, а также цикловые графики для каждого технологического передела. По построенным графикам определяется длительность технологических циклов производства изделий.

6 этап. Валидация полученных данных с помощью имитационной модели. Валидация полученных данных выполняется на основе определенных по пункту 5 методики длительностей технологического цикла производства по переделам.

7 этап. Корректировка характеристик по пунктам 4, 5 методики (при необходимости). Если коэффициенты загрузки рабочих мест по переделам меньше единицы, то корректировка не требуется.

Четвертая глава посвящена внедрению результатов исследования.

Внедрение результатов исследования осуществлено при реализации объекта «Технополис модульного домостроения (завод по производству крупногабаритных модулей (квартир). 4 этап Строительство завода крупномодульного домостроения, склада готовой продукции, бетоносмесительного узла, лаборатории» по адресу: ОНО «ОПХ «Толстопальцево», кад. участок: №50:26:0170908:16, поселение Марушкинское, Новомосковский административный округ города Москвы (объект внедрения).

Разработанные организационно-технологические решения и методика расчета параметров формирования крупногабаритных модулей в условиях производственной базы внедрены на объекте внедрения, реализуемом ГК «МонАрх».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенного исследования сформулированы следующие выводы:

1. В результате обзора тенденций индустриального строительства установлено, что достижение поставленной национальной цели, определенной президентом РФ, возможно при объеме индустриального строительства не менее чем 120 млн. кв. м в год. Существующие в мире общепринятые серийно

производимые модульные конструкции объемно-блочного (модульного) строительства не превышают площадь 18...20 кв. м, что не может в полной мере удовлетворить проектировщиков, заказчиков и потребителей.

2. Проведен обзор и анализ мирового опыта способов сокращения длительности производственного цикла, который показал, что для серийного производства, когда есть необходимость минимизации расходов, предпочтительно использовать принцип вытягивающего производства по принципу «точно вовремя», разработанный в свое время в Японии и являющийся ключевым принципом современного бережливого производства.

3. Анализ конструкции крупногабаритного модуля и требований, предъявляемых к входящим элементам, показал, что в целом, конструкция является технологичной в изготовлении при наличии соответствующих технологий на производстве с учетом предложенных габаритных размеров модулей $L \times V \times H \times S$ до 15 500x7 500x3 550x260 мм. Поточный способ производства крупногабаритных модулей в условиях производственной базы на конвейерной линии применим с учетом рабочих технологических процессов, выполнение которых необходимо для формирования модулей. Исходя из проведенного обзора способов производства модульных конструкций условиях производственной базы, требуется развивать существующие технологии получения сборных строительных изделий.

Впервые разработанная технологическая схема производства крупногабаритных модулей отражает все необходимые производственные этапы, в том числе естественные процессы, такие как термообработка, твердение бетона и нормированное схватывание изделий, а также иллюстрирует наглядно каким образом можно разделить производство на соответствующие производимым работам переделы: формовка панелей, комплектация, сборка модуля, отделка. Таким образом, создана принципиальная схема формирования крупногабаритных модулей в условиях производственной базы при использовании имитационной модели, построенной по принципу «точно вовремя».

4. Впервые разработаны алгоритмы имитационного моделирования, позволяющие смоделировать высокоскоростное конвейерное производство крупногабаритных модулей, организованное по принципу вытягивающего производства «точно вовремя». В результате имитационного моделирования производства, включающего в себя моделирование всех этапов изготовления модуля, выявлены и устранены элементы производственного риска, предложены и смоделированы варианты синхронизации конвейерных линий. Полученные в результате моделирования цикловые графики показывают теоретическую реализуемость заданной программы выпуска при данных условиях производства.

5. Разработана методика расчета параметров формирования крупногабаритных модулей в условиях производственной базы, позволяющая на стадии проектирования производственных линий оценить трудоёмкости выполняемых работ и необходимое число основных производственных рабочих, а также валидировать полученные данные с помощью имитационной модели.

6. Проведена отработка и внедрение методики расчета параметров формирования крупногабаритных модулей в условиях производственной базы и получены данные о трудоемкости опытного производства модулей. Результаты расчетов показали реальность достижения требуемой программы выпуска в соответствии с имитационной моделью производства. Усредненная трудоемкость серийно выпускаемого модуля составит приблизительно 113 человеко-часов. Таким образом, подтверждена возможность достижения увеличения объема гражданского строительства и повышение его качества за счет возведения зданий из крупногабаритных модулей высокой или полной заводской готовности.

Рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы связаны с исследованиями взаимодействия и увязкой основных производственных потоков со вспомогательным производством, разработки организационно-технологических решений и моделирования вспомогательного производства на основе создания многоуровневой системы управления производством, построенной на единых цифровых технологиях.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

Публикации в изданиях, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук:

1. Мещеряков А. С. Аспекты организации проектирования для крупномодульного домостроения / А. С. Мещеряков, Л. А. Пахомова // Системные технологии. – 2022. – № 1(42). – С. 15–20.

2. Мещеряков А. С. Исследование влияния технологических и функциональных особенностей обильных конвейерных роботизированных технологических линий на конструкцию железобетонных стен и перекрытий мобильных крупногабаритных модулей / А. А. Лapidус, С. А. Амбарцумян, О. С. Долгов, А. М. Колпаков, А. С. Мещеряков, В. П. Горбачевский // Строительное производство. – 2022. – № 3. – С. 2–10.

3. Мещеряков А. С. Особенности математического моделирования поточной конвейерной линии для изготовления крупногабаритных железобетонных модулей в условиях производственной базы / А. А. Лapidус, А. С. Мещеряков // Жилищное строительство. – 2024. – № 10. – С. 20–23.

Свидетельства, патенты и др. результаты интеллектуальной деятельности, зарегистрированные в установленном порядке:

4. Амбарцумян С.А., Мещеряков А. С. Комбинат Инновационных Технологий-МонАрх. Плита перекрытия и способ ее изготовления (варианты). Патент №2738049 РФ, МПК E04B 5/32. №2020124729; Заявл. 25.07.2020; Оpubл. 07.12.2020. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44373397>

5. Амбарцумян С.А., Мещеряков А.С. Концерн МонАрх. Способ изготовления крупногабаритного готового объёмного модуля и способ строительства здания из крупногабаритных готовых объёмных модулей. Патент №2712845 РФ, МПК B28B 5/00. B28B 7/02. E04B 1/348. E04H 1/00. №2018142384; Заявл. 30.11.2018; Оpubл. 31.01.2020. <https://elibrary.ru/item.asp?id=42450275>

6. Амбарцумян С.А., Мещеряков А.С. Комбинат Инновационных Технологий-МонАрх. Способ изготовления лестничного объёмного модуля. Патент №2747028 РФ, МПК E04F 11/02. № 2020134750; Заявл. 22.10.2020; Оpubл. 23.04.2021. <https://elibrary.ru/item.asp?id=45811359>

7. Амбарцумян С.А., Мещеряков А.С. Комбинат Инновационных Технологий-МонАрх. Способ изготовления лифтового узла. Патент №2747091 РФ, МПК B66B 11/00. B66B 9/00. B66B 7/00. №2020134760; Заявл. 22.10.2020; Оpubл. 26.04.2021. <https://elibrary.ru/item.asp?id=45811441>

8. Амбарцумян С.А., Мещеряков А. С. Концерн МонАрх. Способ производства объёмного модуля. Патент №2715781 РФ, МПК B28B 7/22. B28B 15/00. E04B 1/348. №2019126143; Заявл. 19.08.2019; Оpubл. 03.03.2020. <https://elibrary.ru/item.asp?id=42588143>

9. Амбарцумян С.А., Мещеряков А. С., Стоянчук Ю.С., Агарцев Е.В., Пахомова Л.А. Комбинат Инновационных Технологий-МонАрх. Автоматическая траверса. Патент №2749677 РФ, МПК B66C 1/00. №2020144159; Заявл. 31.12.2020; Оpubл. 16.06.2021. <https://elibrary.ru/item.asp?id=46315858>

10. Амбарцумян С.А., Мещеряков А.С. Концерн МонАрх. Метод строительства зданий. Патент №3889374 ЕП, МПК E04H 1/00. B28B 5/00. E04B 1/348. №19888380.3; Заявл. 08.02.2019; Оpubл. 06.10.2021. <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/069625337/publication/RU2712845C1?q=3889374>