

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОНСТРУИРОВАНИЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ. СТРОИТЕЛЬНАЯ МЕХАНИКА. ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ / RESEARCH PAPER

УДК 693.94:007.52

DOI: 10.22227/1997-0935.2025.6.839-849

## Роботизация производства деревянных панельных конструкций и строительства с их применением

Прокопий Георгиевич Романов

Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова (СВФУ); г. Якутск Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** Необходимо обеспечить вхождение Российской Федерации к 2030 г. в число 25 ведущих государств мира по показателю плотности роботизации. Решение этой важнейшей задачи должно способствовать повышению конкурентоспособности российской промышленности на мировом рынке и ускорению технологического развития страны. Роботизация определена одним из направлений развития деревянного домостроения. Условием внедрения автоматизации и роботизации является создание непрерывной цифровой среды, начиная с проектирования, изготовления, эксплуатации и утилизации строительных конструкций, охватывающей все этапы жизненного цикла строительной продукции.

**Материалы и методы.** Наблюдается активный рост научных статей, посвященных робототехнике в строительной сфере. По количеству опубликованных статей Россия занимает 6-е место из общего числа рассмотренной 61 страны. Эффективность роботизации строительства оценивается с точки зрения экономической эффективности строительства как длительного инвестиционного процесса. Внедрение роботизации в значительной степени зависит от вида используемых материалов и производственных операций. В настоящее время разрабатываются и внедряются в строительство образцы нового поколения отечественного автоматизированного и роботизированного строительного оборудования. Строительство с применением деревянных конструкций — одно из наиболее перспективных для роботизации направлений.

**Результаты.** Рассмотрен опыт изготовления роботом деревянного арочного покрытия из стандартизованных калиброванных цельнодеревянных брусков из древесины японского кипариса с применением однотипных соединений. На основании производственных показателей действующего предприятия ООО ЛПК «Алмас» в г. Якутске выполнена оценка снижения себестоимости деревянных панельных конструкций при автоматизации их выпуска на 17,48 %. Проведена экспертная оценка снижения трудозатрат при строительномонтажных работах крупнопанельных зданий, как корректный аналог многоэтажного здания из деревянных CLT-панелей, на 25 % в машино-сменах и человеко-днях.

**Выводы.** Условием внедрения роботизации является создание BIM высокой степени детализации. Внедрение автоматизации и роботизации в строительство с применением деревянных конструкций дает эффект на этапах заводского производственного технологического процесса и строительномонтажных работ.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** автоматизация и роботизация, BIM высокой степени детализации, уровень роботизации, деревянные конструкции, МХМ и CLT-панели, себестоимость

**Благодарности.** Автор выражает благодарность доктору технических наук, профессору К.П. Пятикрестовскому за идею статьи, а также рецензентам.

**ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:** Романов П.Г. Роботизация производства деревянных панельных конструкций и строительства с их применением // Вестник МГСУ. 2025. Т. 20. Вып. 6. С. 839–849. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.6.839-849

**Автор, ответственный за переписку:** Прокопий Георгиевич Романов, pg.romanov@mail.ru.

## Robotization of production of wooden panel structures and construction with their application

Prokopii G. Romanov

North-Eastern Federal University in Yakutsk (NEFU); Yakutsk, Russian Federation

### ABSTRACT

**Introduction.** It is necessary to ensure that by 2030 the Russian Federation is among the top 25 leading countries in the world in terms of robotization density. The solution of this most important task should contribute to increasing the competitiveness of the Russian industry in the global market and accelerating the technological development of the country.

Robotization has been identified as one of the directions of development of wooden house building. The condition for the introduction of automation and robotization is the creation of a continuous digital environment, starting from design, manufacturing, operation and disposal of building structures, covering all stages of the life cycle of construction products.

**Materials and methods.** There is an active growth of scientific papers devoted to robotics in the construction sphere. In terms of the number of published papers Russia ranks 6th out of the total number of 61 countries considered. The efficiency of construction robotization is assessed from the point of view of economic efficiency of construction as a long-term investment process. The introduction of robotization depends to a large extent on the type of materials and production operations used. Currently, specimens of a new generation of domestic automated and robotized construction and assembly equipment are being developed and introduced into construction. Construction using wooden structures is one of the most promising areas for robotization.

**Results.** The experience of robot production of wooden arch coverings made of standardized calibrated solid timber bars of Japanese cypress wood with the use of single-type joints is considered. On the basis of production indicators of the operating enterprise LPC "Almas" LLC in Yakutsk the estimation of the reduction in the cost price of wooden panel constructions by 17.48 % was made when automating their production. An expert assessment of labour cost reduction in construction and installation works of large-panel buildings, as a correct analogue of a multi-storey building made of wooden CLT-panels, by 25 % in machine-shifts and man-days was carried out.

**Conclusions.** A prerequisite for the implementation of robotization is the creation of BIM of a high level of detail. The introduction of automation and robotization in construction with wooden structures has an effect on the stages of the factory production process and construction and assembly work.

**KEYWORDS:** automation and robotization, BIM of a high degree of detail, level of robotization, wooden structures, MHM and CLT panels, cost

*Acknowledgements.* The author expresses gratitude to Doctor of Technical Sciences, Prof. K.P. Pyatikrestovsky for the idea of the paper, and the reviewers.

**FOR CITATION:** Romanov P.G. Robotization of production of wooden panel structures and construction with their application. *Vestnik MGSU* [Monthly Journal on Construction and Architecture]. 2025; 20(6):839-849. DOI: 10.22227/1997-0935.2025.6.839-849 (rus.).

*Corresponding author:* Prokopii G. Romanov, pg.romanov@mail.ru.

## ВВЕДЕНИЕ

Стоит задача обеспечить вхождение Российской Федерации к 2030 г. в число 25 ведущих государств мира по показателю плотности роботизации. Решение данной важнейшей задачи должно способствовать повышению конкурентоспособности российской промышленности на мировом рынке и ускорению технологического развития страны<sup>1</sup>. Производство роботов, автоматизация и роботизация промышленного производства, здравоохранения, сферы сервиса и различных услуг являются динамично развивающимися направлениями международной конкуренции. Производство роботов в РФ, по объему выпуска пока находясь на невысоких позициях, имеет значительный потенциал для ускоренного развития. Имеющиеся возможности производства роботов, оснащение промышленных предприятий роботизированными системами создадут мультипликативный эффект в промышленном производстве в целом. Хотя мировая тенденция использования роботизированных систем демонстрирует их наиболее активное применение в автомобильной промышленности, металлообработке и машиностроении, химической промышленности, разных видах сервиса и услуг, к перспективным отраслям роботизации относится и строительство.

В строительстве развитие цифровизации, как необходимое условие внедрения роботов в новую

отрасль, достигло высокого уровня. BIM-проектирование, разработка и успешное применение на практике отечественных облачных и других систем управления строительством, активное использование цифровых двойников строящихся объектов, строительных экосистем показывает достаточную зрелость строительной отрасли к автоматизации и роботизации строительно-монтажных работ (СМР). Имеется определенный уровень автоматизации процессов монтажа, технологических процессов отделочных работ, автоматизированного оборудования и машин контроля качества выполняемых работ. Внедрение роботизированных систем в строительство в целом, в том числе в деревянное панельное многоэтажное строительство, может реализовать значительный экономический эффект.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Роботизация в промышленном производстве и ее технологические составные части вписываются в общую схему жизненного цикла (ЖЦ) промышленной продукции. В строительстве возможно рассмотреть части ЖЦ строительных материалов и конструкций относительно возможностей автоматизации и роботизации.

Роботизация в строительстве, в соответствии с этапами ЖЦ продукции, может охватывать следующие процессы:

- формирование технического задания на проектирование с учетом роботизации всех этапов ЖЦ строительных конструкций;

<sup>1</sup> О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года : Указ Президента РФ от 07.05.2024 № 309.

- заводское производство строительных материалов, элементов строительных конструкций, конструкций и укрупненных монтажных блоков;

- транспортировка;
- складирование;
- монтаж;
- эксплуатация;
- ремонт;
- реновация;
- снос, демонтаж;
- утилизация.

Автоматизация и роботизация процессов строительного производства имеют продолжительную по времени историю разработки, внедрения и эксплуатации, но к настоящему времени еще не стали определяющими факторами строительства как инвестиционного процесса. Уровень роботизации — один из важных показателей, характеризующих производительность и качество продукции конкретного производства, предприятия и страны. Начиная с автоматизации отдельных операций заводского производства строительных материалов и изделий, разработки и использования машин и механизмов, заменяющих ручной труд на строительной площадке, на сегодняшний день роботизированными процессами в строительной отрасли выполняется относительно небольшой объем выпуска строительных материалов и изделий, а на строительной площадке также малая часть СМР.

Правительством РФ принимаются основополагающие решения, которые ставят задачи повышения эффективности строительного производства. Строительство как инвестиционный процесс может развиваться наиболее эффективно путем автоматизации и роботизации.

Реализуется Стратегия развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года, принятая Правительством РФ в 2022 г., которая предусматривает анализ лучших мировых практик и тенденций<sup>2</sup>. Активно развивающимися мировыми трендами в строительной отрасли сегодня являются автоматизация и роботизация, снижение выбросов углекислого газа, контроль и снижение углеродного следа строящихся и реконструируемых зданий и сооружений.

Уровень роботизации, оцениваемый количеством роботов на 10 000 работающих, в российской промышленности равен 4 [1], и практически не меняется за последние несколько лет. Строительная

отрасль в этом показателе занимает статистически незначимую величину.

Задача отрасли — дальнейшее быстрое внедрение инноваций, наиболее востребованные и предпочтительные из которых автоматизация и роботизация, повышающие качество и безопасность технических решений.

В 2022 г. Минстрой и МЧС России утвердили План мероприятий (дорожную карту) по развитию деревянного домостроения на период до 2024 года<sup>3</sup>. Данная дорожная карта определила совершенствование нормативной базы строительной отрасли, в особенности в части деревянного домостроения. Актуализирован большой массив нормативных документов, разрабатываются новые документы, в том числе по панельной технологии строительства деревянных зданий.

В Плате мероприятий отмечается, что «...в промышленности строительных материалов... создана система национальных стандартов и сводов правил в области модульного строительства, деревянного домостроения».

План мероприятий предусматривает:

- обеспечение идентификации и прослеживаемости каждой партии строительных материалов и изделий, результатов лабораторных исследований при проведении контроля;

- включение в план мероприятий по реализации национальных проектов технологий индустриального домостроения (сборно-монолитного каркаса, блочно-модульного строительства, деревянного домостроения), использование современных строительных материалов, включая алюминиевые, композитные и полимерные, а также полученные за счет вторичной переработки сырья или отходов строительства и сноса;

- (роботизацию) создание системы уникальной цифровой маркировки строительных материалов и изделий, используемой для проведения контроля (надзора).

Система уникальной цифровой маркировки, имеющая длительную историю разработки, внедрения и использования в различных отраслях народного хозяйства РФ, распространяется на многие технологические этапы промышленного производства, способствует повышению эффективности учета, распределения, складского хозяйства, транспортировки. На следующих этапах использования промышленной продукции на примере строительства можно подчеркнуть, что цифровая маркировка элементов строительных конструкций позволяет максимально совершенствовать приемку на строительной площадке, обеспечивает внедрение автоматизированных и роботизированных процессов, повысить

<sup>2</sup> Стратегия развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года с прогнозом до 2035 года : утв. распоряжением Правительства РФ от 31.10.2022 № 3268-р. URL: <http://static.government.ru/media/files/AdmXczBBUGfGNM8tz16r7RkQcsgP3LAm.pdf>

<sup>3</sup> План мероприятий (дорожная карта) по развитию деревянного домостроения на период до 2024 года. URL: <https://minstroyrf.gov.ru/press>

эффективность СМР. Важной возможностью, которая имеет прямое влияние на продолжительность безремонтной эксплуатации зданий и сооружений, является поэлементный учет частей и элементов строительных конструкций, позволяющий вести мониторинг их работы при длительной эксплуатации, как части непрерывного во времени процесса, начиная от заводского производства до утилизации.

Естественная последовательность развития «механизация – автоматизация – роботизация» в строительной отрасли реализуется отдельными автоматизированными системами [2–5], решающими автоматизированное выполнение отдельных операций и процессов. В настоящее время разрабатываются и внедряются в строительство образцы нового поколения отечественного автоматизированного и роботизированного строительного оборудования. Так, в 2024 г. предприятие URobot (ЮРобот) из г. Петрозаводска представило роботизированную платформу Antero 3, разработанную для использования на строительных площадках. Эта машина с функциями искусственного интеллекта может применяться в качестве погрузчика или, например, инспектора для оценки качества выполненных работ. Ресурс TAdviser представил эту технологическую роботизированную платформу с примером применения при транспортировке на объекте строительства, изготовлении полов и контроле качества и процессов<sup>4</sup>.

Отмечается активный рост научных статей, посвященных робототехнике в строительной сфере. По количеству опубликованных статей Россия занимает 6-е место (27 статей) из общего числа рассмотренной 61 страны, за период с 1983 г. по февраль 2024 г.<sup>5</sup> Наибольшее число научных статей опубликовано в США — 259, далее следует Китай (139), Германия (77), Япония (70) и Южная Корея (69 статей).

Зарубежный опыт использования роботов в строительной отрасли показывает перспективность их применения. При среднегодовом росте рынка строительных роботов 15,5 %, с 383,11 млн долларов США в 2024 г. к 2029 г. объем рынка может достичь 787,48 млн долларов<sup>6, 7</sup>. Роботы в строительстве используются при сносе зданий и сооружений, земляных работах, кладке из кирпича и блоков, 3D-печати зданий и в других целях. По сравнению с высокороботизированными отраслями, такими как производство электроники, автопром, машиностроение, химическая и пищевая промышленности,

в настоящее время объем ежегодно реализуемых строительных роботов занимает меньше чем 1 % мирового рынка (50 млрд долларов)<sup>4</sup>.

Цифровизация строительства — необходимое условие внедрения автоматизации и роботизации отрасли. Начиная с проектирования объекта строительства, построения его цифрового двойника, цифрового описания всех процессов, завершая передачей в эксплуатацию построенного объекта вместе с его цифровой моделью, соответствующей построенному зданию, сооружению, весь процесс должен роботизироваться с целью повышения качества и эффективности [6, 7]. Национальная ассоциация участников рынка робототехники (НАУРР) России отмечает активное развитие интегрированных ERP-систем управления предприятием (enterprise resource planning) в строительной сфере. Системы проектирования, управления и контроля роботизированными процессами строительства, эксплуатации здания и сооружения должны взаимно дополнять друг друга и составлять адаптированную часть цельной управляющей инвестиционной системы.

Определенные трудности сегодня вызваны санкциями США, ЕС и Британии к российским ИТ-компаниям. По данным TAdiser, в 2022–2024 гг. различным санкциям подверглись 107 российских компаний, при этом «наименьшие риски санкции несут для производителей ПО (программного обеспечения) и более серьезные риски — для производителей “железа”».

На рынке представлены различные системы со своими ПО, такие как АСУ «Жилищный стандарт», платформа IYNO («Айно»), система создания цифрового двойника здания BIMIT, строительная экосистема ОРЛАН System, модульная облачная ИТ-экосистема для строительства PropTech, система управления строительством SODIS Building CM и др. Эти системы существенно повышают эффективность строительства как инвестиционного процесса.

Эксперты предполагают, что эволюция робототехники, применяемой при СМР, станет основываться на развитии совокупности датчиков, информация с которых будет создавать среду высокоэффективной деятельности робота, картографической основы и управления ее изменением, и использования алгоритмов искусственного интеллекта.

Развитие промышленного производства идет в основном как последовательность внедрения механизации, автоматизации и роботизации. Роботизация является самой развитой формой современной автоматизации производства. В этой последовательной цепочке этапов развития организации промышленного производства деревообрабатывающее производство занимает особое место. Традиционно внедрение механизации и автоматизации в деревообрабатывающей отрасли шло с некоторым запаздыванием во времени, в основном на уровне низовой автоматизации.

<sup>4</sup> TAdviser. URL: <https://www.tadviser.ru/>

<sup>5</sup> Размер рынка строительных роботов. URL: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/construction-robots-market/market-size>

<sup>6</sup> НАУРР. URL: <https://robotunion.ru/>

<sup>7</sup> Газпромбанк инвестиции. URL: <https://gazprombank.investments/blog/reviews/robotics/>

В современной деревообрабатывающей промышленности при общем достаточно высоком уровне механизации и автоматизации станки и оборудование с числовым программным управлением (ЧПУ), полностью автоматизированные деревообрабатывающие центры появились в последнее десятилетие. Имеется опыт применения металлообрабатывающего в своей основе деревообрабатывающего центра с ЧПУ для изготовления цельнодеревянных элементов конструкций каркасного здания из твердых пород древесины (Франция). Ожидается широкое внедрение автоматизированных деревообрабатывающих центров.

Эффект роботизации может быть рассмотрен на этапе производства деревянных панелей и СМР.

Механизация и автоматизация оказывают определенное влияние на формирование составляющих себестоимости продукции затрат. Сокращается количество занятых на участке (этапе) производства, снижается фонд оплаты труда, повышается тарифная ставка высококвалифицированных специалистов, применяется совокупность мер поощрения и стимулирования за высококвалифицированный труд. Повышается качество продукции, качество выпускаемой продукции становится стабильным. В целом происходит значительное снижение себестоимости,

повышаются эффективность производства и конкурентоспособность.

Эксперты считают, что ожидаемым вызовом для строительной отрасли будет рост индивидуализации объемно-планировочных решений жилья, произойдет переход от массового промышленного производства к массовой кастомизации (индивидуализации проектов жилья и домов), и важным условием реализации этого процесса будет развитие цифровых технологий производства [8].

Рассмотрен опыт изготовления роботом деревянного арочного покрытия из стандартизованных калиброванных цельнодеревянных брусков из древесины японского кипариса с применением однотипных соединений. Шестикоординатный робот KUKA R2100 со скоростью 2 м/с имеет широкий диапазон движения — в вертикальной плоскости от +35 до -135°, в горизонтальной плоскости по 185° в обе стороны. Соединение брусков, состоящее из двустороннего клеенанесения и саморезов, обеспечивает требуемую прочность и деформативность. Полученный результат продемонстрировал успешное взаимодействие человека и робота (HRI — human-robot interaction) (рис. 1–3).

Заводское производство деревянных каркасных панелей апробировано в США на роботизирован-

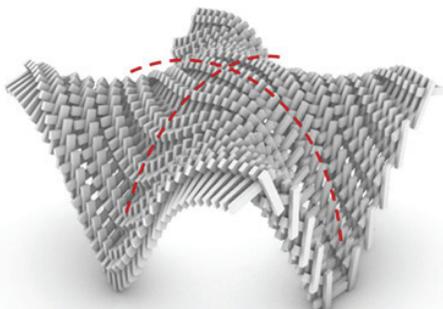


Рис. 1. Вариант проекта арки [8]

Fig. 1. Arch design option [8]

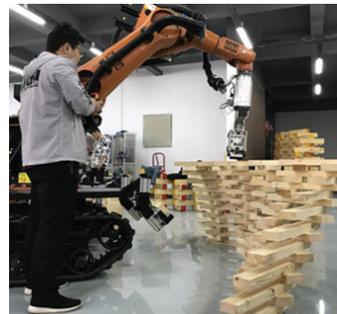


Рис. 2. Робот строит арку [8]

Fig. 2. A Robot is building an arch [8]



a



b

Рис. 3. Конструкции, построенные роботом KUKA R2100 (a); арка из деревянных элементов (b) [8]

Fig. 3. Structures built by the KUKA R2100 robot (a); is an arch made of wooden elements (b) [8]

ном участке, состоящем из двух роботов. Успешно решено эффективное взаимодействие роботов, основанное на восприятии роботами положения деревянных элементов в пространстве и топологии изготавливаемой конструкции и движения их рабочих органов. Восприятие информации, анализ и принятие мер по устранению неопределенностей решены внедрением адаптивного управления группы роботов (рис. 4).

Взаимная интеграция роботизированных проектирующих, строительно-монтажных, контролируемых и управляющих систем обеспечит дальнейшее повышение эффективности строительной отрасли.

Экспертные оценки эффективности внедрения роботизации в различных промышленных производствах подчеркивают зависимость конечного результата от физических свойств, вида, структуры, габаритов, весовых характеристик исходного сырья и обрабатываемых материалов. Заводское производство и монтаж деревянных крупноразмерных панельных конструкций возможно отнести к одним из наиболее перспективных для применения роботов направлений в строительстве. Имеются исследования, посвященные различным аспектам производства, монтажа и эксплуатационных вопросов деревянных панельных конструкций в многоэтажном строительстве. Актуальны вопросы исследования CLT-панелей (cross laminated timber) [10–23].

На примере производств, выпускающих МХМ-панели и близкие к ним конструктивно, или аналогичную продукцию, можно проанализировать возможный эффект от внедрения автоматизации

и роботизации выпуска панелей, по сравнению с имеющейся в ООО ЛПК «Алмас» в г. Якутске традиционной технологией сборки МХМ-панелей.

Автоматизированные системы управления производственными процессами, это и технологические линии по производству МХМ-панелей, являются распределенными по уровням и интегрированными по функциям. Каждому уровню управления технологическими процессами соответствуют определенные функции, реализованные соответствующим ПО и техническими средствами автоматизации [24, 25].

На рис. 5 приведена принципиальная схема распределенных систем управления автоматизированными процессами производства.

Внедрение автоматизации по вышеуказанной схеме позволяет реализовать все перспективы и резервы станков и оборудования, технологической линии по возможному снижению себестоимости производства МХМ-панелей.

В таблице приведена калькуляция панельной продукции, выпускаемой автоматизированной линией по производству МХМ-панелей, по предлагаемому варианту на базе ООО ЛПК «Алмас» (рис. 6).

Принятая за базовый вариант калькуляция себестоимости МХМ-панелей действующего производства определяет себестоимость 1 м<sup>3</sup> в размере 20 911,39 руб., стоимость изделия с НДС 20 % составляет 30 000 руб. Таким образом, можно сделать вывод о том, что внедрение автоматизации в ООО ЛПК «Алмас» позволит снизить себестоимость МХМ-панелей на 17,48 %.

На этапе СМР при монтаже МХМ или CLT-панелей по аналогии с формированием составляю-

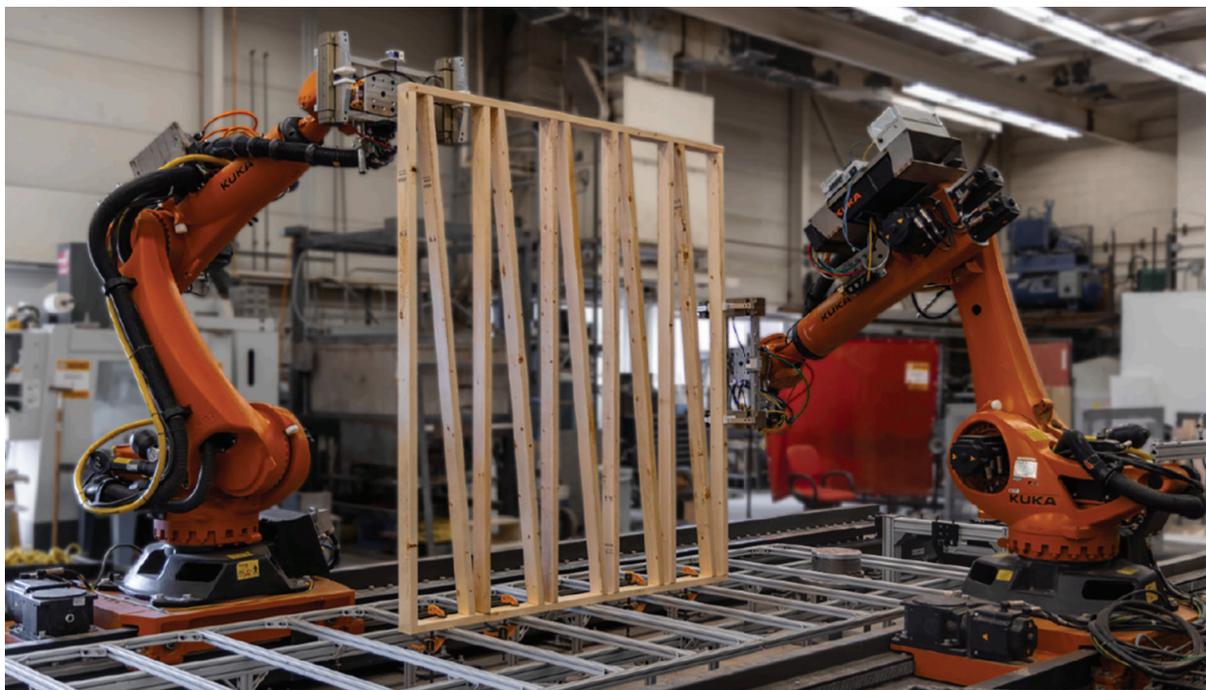


Рис. 4. Роботизированная сборка каркаса деревянных панелей [9]

Fig. 4. Robotic assembly of the wooden panel frame [9]

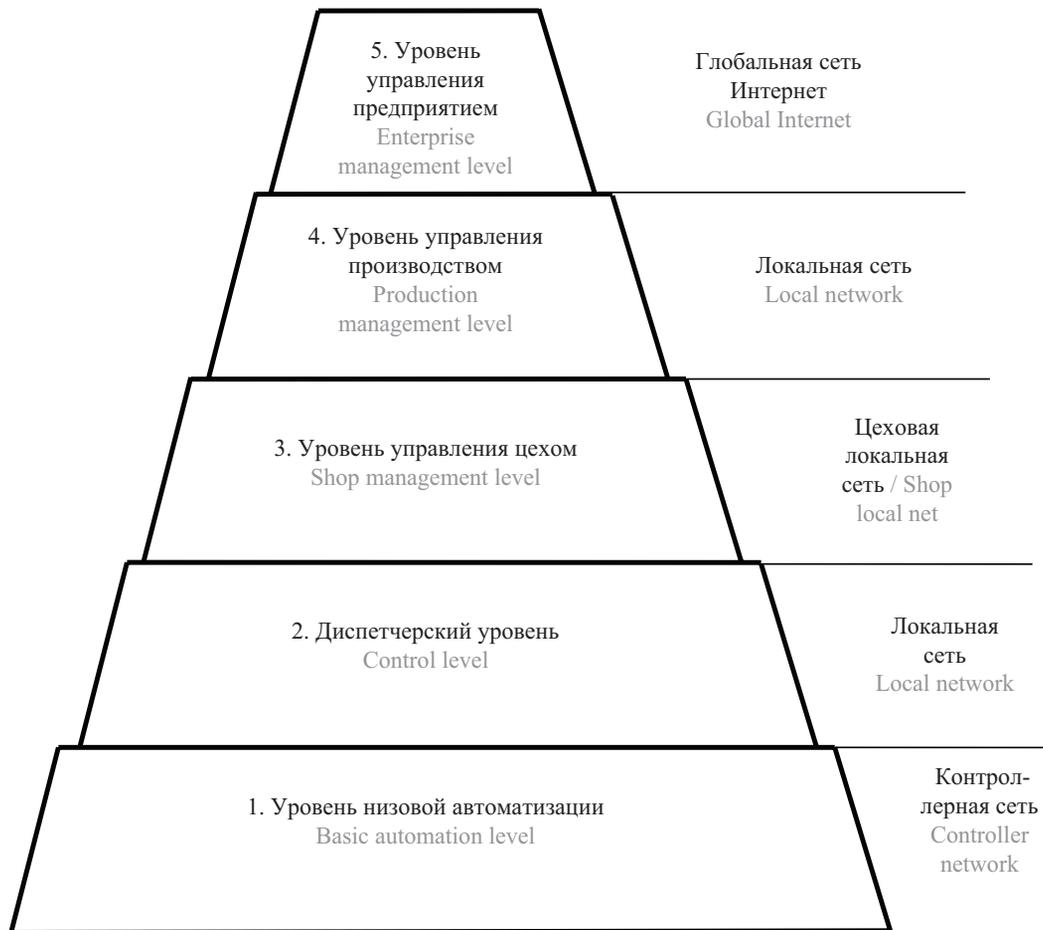


Рис. 5. Пример сетевых уровней распределенных систем управления. Использован и переработан [24]

Fig. 5. An example of network layers of distributed control systems. Used and modified [24]



Рис. 6. Производство МХМ-панелей в ЛПК «Алмас»

Fig. 6. Production of MHM panels at the “LPC Almas” LLC

щих калькуляции себестоимости монтажа крупнопанельных зданий рассмотрены показатели затрат труда в человеко-днях и машино-сменах кранового и строительного-монтажного оборудования на примере монтажа крупнопанельного здания [26]. Калькуляция показывает (табл. 9 [26]) соотношение анализируемых показателей — 1413,35 чел.-дн.

и 183,86 машино-смен. При этом 681,58 чел.-дн. (48 %) связаны с механизированными работами (монтаж кранами), а оставшиеся 731,76 чел.-дн. (52 %) — это работы, выполняемые вручную (электросварка, заделка стыков, утепление, нанесение антикоррозионного покрытия, заделка швов раствором). Автоматизация и роботизация СМР строитель-

Калькуляция себестоимости панели, вариант автоматизированного производства, руб. (за базовый вариант принят 2022 г.)

Panel cost calculation, automated production option (2022 is accepted as the base option)

Номер Number	Показатель Indicator	Сумма Amount
1–8	Материалы, сушка, фонд оплаты труда, районный коэффициент и северные надбавки, страховые взносы, общепроизводственные затраты (без сырья) Materials, drying, wage fund, regional coefficient and northern allowances, insurance premiums, general production costs (without raw materials)	2135,28
9	Прямые затраты Direct costs	2013,46
10	Накладные затраты (без сырья) 15 % Overhead costs (without raw materials) 15 %	897,92
11	Итого себестоимость 1м <sup>3</sup> Total cost 1 m <sup>3</sup>	17 255,14
12	Рентабельность, 20 % Profitability, 20 %	3451,03
13	Стоимость изделия за 1 м <sup>3</sup> без НДС Product cost per 1 m <sup>3</sup> , excluding VAT	20 706,17
14	Стоимость изделия за 1 м <sup>3</sup> с НДС 20 % Product cost per 1 m <sup>3</sup> , with VAT 20 %	24 847,404

ства деревянных домов из МХМ или CLT-панелей могут существенно сократить трудозатраты, в первую очередь связанные с эксплуатацией кранов, их управлением, сопровождением и другими сопутствующими действиями. Другая область внедрения автоматизированных и роботизированных систем — замена ручного труда путем разработки и внедрения соответствующего оборудования. В указанных двух областях внедрения автоматизации и роботизации даже на первоначальном этапе опытной эксплуатации возможно снижение трудозатрат на половину, т.е. на 25 % в каждой области, по сравнению с существующим положением.

Роботизация окажет значительное влияние на формирование себестоимости СМР, например, при строительстве многоэтажных жилых домов из CLT-панелей. Изменится амортизационная составляющая, при содержании и эксплуатации роботизированных систем она возрастет по сравнению с применением обычных крановых и подъемно-транспортных механизмов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведен анализ состояния автоматизации и роботизации в строительной отрасли. Проанализирован опыт проектирования и строительства деревянной арки роботом, получившей оценку как пример успешного сотрудничества человека и робота. Рассмотрено пробное изготовление деревянного каркаса стеновой панели двумя взаимодействующими роботами. Обосновано, что деревянные МХМ и CLT-панели являются строительными конструкциями, перспективными для заводского роботизированного производства и СМР. На основании производственных показателей действующего предприятия ООО ЛПК «Алмаз» (г. Якутск) сделана оценка снижения себестоимости деревянных панельных конструкций при автоматизации их выпуска на 17,48 % (рис. 7).

Сделана экспертная оценка снижения трудозатрат при СМР крупнопанельных зданий, как корректный аналог многоэтажного здания из деревянных CLT-панелей, на 25 % в машино-сменах и человеко-днях.



Рис. 7. Панельный дом производства ООО ЛПК «Алмаз» в п. Бясь-Кюэль Горного района Республики Саха (Якутия)

Fig. 7. Panel house produced by “LPK Almas” LLC in the village of Byas-Kyuel in the Gorniy District of the Republic of Sakha (Yakutia)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Строительство с применением деревянных МХМ и CLT-панелей является перспективным направлением внедрения роботизации в строительство. Условием внедрения роботизации служит

создание BIM высокой степени детализации. Внедрение автоматизации и роботизации в строительство с применением деревянных конструкций дает эффект на этапах заводского производственного технологического процесса и строительного-монтажных работ.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. *Конюховская А., Цыпленкова В.* Рынок робототехники: угрозы и возможности для России. Издательские решения, 2019. 180 с.
2. *Михеев Г.В.* Применение технологий автоматизации и роботизации в строительстве // Высокие технологии в строительном комплексе. 2022. № 1. С. 209–214. EDN QHJAMQ.
3. *Михеев Г.В., Яновская Э.Д.* Роботизированная техника в строительстве // Научные труды КубГТУ. 2019. № 2. С. 181–188. EDN UOLQOS.
4. *Вильман Ю.А.* Основы роботизации в строительстве. М.: Высшая школа, 1989. 270 с.
5. *Емельянов С.Г., Булгаков А.Г., Червяков Л.М., Асмолов А.С., Бычкова Л.В., Бузало Н.С.* Роботизация и автоматизация строительных процессов: монография. Курск, 2014. 322 с. EDN UBGFHP.
6. *Liu Y., Alias A.H., Haron N.A., Bakar N.A., Wang H.* Robotics in the Construction Sector: Trends, Advances, and Challenges // Journal of Intelligent & Robotic Systems. 2024. Vol. 110. Issue 2. DOI: 10.1007/s10846-024-02104-4
7. *Hu R., Pan W., Iturralde K., Linner T., Bock T.* Construction Automation and Robotics for Concrete Construction: Case Studies on Research, Development, and Innovations // Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction (IAARC). 2023. DOI: 10.22260/ISARC2023/0095
8. *Leng Y., Shi X., Hiroatsu F., Kalachev A., Wan D.* Automated construction for human–robot interaction in wooden buildings: Integrated robotic construction and digital design of iSMART wooden arches // Journal of Field Robotics. 2023. Vol. 40. Issue 4. Pp. 810–827. DOI: 10.1002/rob.22154
9. *Adel A., Ruan D., McGee W., Mozaffari S.* Feedback-driven adaptive multi-robot timber construction // Automation in Construction. 2024. Vol. 164. P. 105444. DOI: 10.1016/j.autcon.2024.105444
10. *Мавлюбердинов А.Р., Хоцянян Д.Н.* Технологические особенности возведения многоэтажных жилых зданий из CLT-панелей // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2018. № 1 (43). С. 219–225. EDN UOVVCG.
11. *Бойтемирова И.Н., Давыдова Е.А.* CLT-панели — эффективный материал из древесины для несущих и ограждающих конструкций зданий // Вестник научных конференций. 2016. № 12–1 (16). С. 18–21. EDN XRFQCV.
12. *Есауленко И.В.* Перспективы развития высотного деревянного домостроения в России на примере зарубежного опыта // Архитектура, строительство, транспорт. 2021. № 4. С. 17–25. DOI: 10.31660/2782-232X-2021-4-17-25. EDN OFUFZP.
13. *Ван-Хо-Бин Е.А.* Перспективы строительства высотных зданий из CLT-панелей в России // Новые идеи нового века: мат. Междунар. науч. конф. ФАД ТОГУ. 2016. Т. 3. С. 213–217. EDN VSVDJH.
14. *Туманов А.В., Иванцов Р.А., Пензяков В.Д., Шитова И.Ю.* Перспективы многоэтажного деревянного строительства из CLT-панелей в России // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. 2021. № 1 (12). С. 43–49. EDN FAOVOG.
15. *Ляпина Д.А.* Перспективы развития строительства домов из деревянных CLT панелей в России // Образование. Наука. Производство: XIII Междунар. молодежный форум. 2021. С. 1752–1753. EDN VJDJIT.
16. *Журович Е.А., Козлова К.С., Шкорко М.Ю.* CLT-панели — перспективный строительный материал // Журнал естественно-научных исследований. 2017. Т. 2. № 4. С. 89–98. EDN ZWSULN.
17. *Третьяков Н.В., Вохрамеева П.С.* Ограждающие конструкции каркасных зданий с применением CLT-панелей // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительство: сб. ст. 2019. С. 56–61. EDN RQYSZJ.
18. *Якуненкова М.С., Осетрина Д.А.* Возможность использования CLT-панелей в жилом строительстве для условий Салехарда // Современное строительство и архитектура. 2022. № 6. С. 4–9. DOI: 10.18454/mca.2022.30.6.001. EDN OCKEJL.
19. *Амельчугов С.П., Тарасов И.В., Шубкин Р.Г., Иванов Д.В., Никулин М.А.* Пожарная безопасность несущей звукозащитной деревянной CLT панели // Сибирский пожарно-спасательный вестник. 2022. № 2 (25). С. 9–14. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.35.47.001. EDN NCLUBJ.
20. *Захватов Д.М., Жантлисов Т.А., Рузаев С.Н.* Оценка пожарной опасности конструкций из CLT панелей // Региональные проблемы геологии, географии, техносферной и экологической безопасности: мат. IV Всеросс. науч.-практ. конф. 2022. С. 128–132. EDN UVJQOG.

21. *Захватов Д.М., Рузаев С.Н.* Пожарная безопасность конструкций из CLT панелей // В фокусе достижений молодежной науки : мат. ежегодной итоговой науч.-практ. конф. 2023. С. 195–197. EDN CSYXUH.

22. *Пехотиков А.В., Абаишкин А.А., Голкин А.В., Гомозов А.В.* Особенности противопожарной защиты многоквартирных жилых зданий с применением конструкций из перекрестноклееной древесины // Актуальные проблемы пожарной безопасности : мат. XXXV Междунар. науч.-практ. конф. 2023. С. 348–357. EDN OLKFFPC.

23. *Салимуллин А.Р., Смирнов П.Н.* Разработка и исследование узловых соединений древесины перекрестноклееной на винтах, в том числе для многоэтажных зданий // Вестник НИЦ Строительство. 2022.

№ 1 (32). С. 53–64. DOI: 10.37538/2224-9494-2022-1(32)-53-64. EDN HWCQUZ.

24. *Дорошенко В.А.* Синтез технологической структуры автоматизированных технологических процессов первичной обработки древесины. Красноярск : КГТА, 1996. 299 с.

25. *Дорошенко В.А., Друк Л.В.* Проектирование распределенных систем управления : учебное пособие. М. : Изд-во Московского гос. ун-та леса, 2012. 524 с. EDN QMXPDP.

26. *Несветаев Г.В., Корянова Ю.И.* Технология возведения крупнопанельных зданий с применением современных строительных материалов : учебное пособие. М. : Издательский дом «Академия естествознания», 2023. 92 с. EDN KZKERQ.

Поступила в редакцию 9 сентября 2024 г.

Принята в доработанном виде 14 апреля 2025 г.

Одобрена для публикации 14 апреля 2025 г.

ОБ АВТОРАХ: **Прокопий Георгиевич Романов** — кандидат технических наук, доцент, кафедра проектирования, строительства, технологий Инженерно-технического института; **Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова (СВФУ)**; 677000, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Белинского, д. 58; РИНЦ ID: 422161, Scopus: 572158872791, ResearcherID: HDN-7525-2022, ORCID: 0000-0001-7744-592X; pg.romanov@mail.ru.

## REFERENCES

1. Konyukhovskaya A., Tsyplenkova V. *Robotics market: threats and opportunities for Russia*. Publishing solutions, 2019; 180. (rus.).

2. Mikheev G.V. Application of automation technologies and robotics in construction. *High Technologies in Construction Complex*. 2022; 1:209-214. EDN QHJAMQ. (rus.).

3. Mikheev G.V., Yanovskaya E.D. Robotic engineering in construction. *Scientific Works of KubSTU*. 2019; 2:181-188. EDN UOLQQS. (rus.).

4. Vilman Yu.A. *Fundamentals of robotization in construction*. Moscow, Higher School, 1989; 270. (rus.).

5. Emelyanov S.G., Bulgakov A.G., Chervyakov L.M., Asmolov A.S., Bychkova L.V., Buzalo N.S. *Robotization and automation of construction processes : monograph*. Kursk, 2014; 322. EDN UBGFHP. (rus.).

6. Liu Y., Alias A.H., Haron N.A., Bakar N.A., Wang H. Robotics in the Construction Sector: Trends, Advances, and Challenges. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*. 2024; 110(2). DOI: 10.1007/s10846-024-02104-4

7. Hu R., Pan W., Iturralde K., Linner T., Bock T. Construction Automation and Robotics for Concrete Construction: Case Studies on Research, Development, and Innovations. *Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Construction (IAARC)*. 2023. DOI: 10.22260/ISARC2023/0095

8. Leng Y., Shi X., Hiroatsu F., Kalachev A., Wan D. Automated construction for human–robot interaction

in wooden buildings: Integrated robotic construction and digital design of iSMART wooden arches. *Journal of Field Robotics*. 2023; 40(4):810-827. DOI: 10.1002/rob.22154

9. Adel A., Ruan D., McGee W., Mozaffari S. Feedback-driven adaptive multi-robot timber construction. *Automation in Construction*. 2024; 164:105444. DOI: 10.1016/j.autcon.2024.105444

10. Mavlyuberdinov A.R., Khotsanian D.N. Technological features of erecting multi-storey residential buildings from CLT-panels. *News of the Kazan State University of Architecture and Engineering*. 2018; 1(43):219-225. EDN UOVVCG. (rus.).

11. Boytemirova I.N., Davydova E.A. CLT panels — an effective wood material for load-bearing and enclosing structures of buildings. *Bulletin of Scientific Conferences*. 2016; 12-1(16):18-21. EDN XRFQCV. (rus.).

12. Esaulenko I.V. Prospects for the development of high-rise wooden housing construction in Russia on foreign experience. *Architecture, Construction, Transport*. 2021; 4:17-25. DOI: 10.31660/2782-232X-2021-4-17-25. EDN OFUFZP. (rus.).

13. Van-Kho-Bin E.A. Perspectives for the high-rise buildings construction from CLT-panels in Russia. *New ideas of the new century : materials of the international scientific conference of the FAD TNU*. 2016; 3:213-217. EDN VSVDJH. (rus.).

14. Tumanov A.V., Ivantsov R.A., Penzyakov V.D., Shitova I.Yu. The prospects of multi-storey wooden construction from CLT-panels in Russia. *PGUAS Bulletin: construction, science and education*. 2021; 1(12):43-49. EDN FAOVOG. (rus.).
15. Lyapina D.A. Prospects for the development of construction of houses from wooden CLT panels in Russia. *Education. Science. Production : XIII International Youth Forum*. 2021; 1752-1753. EDN VJDJIT. (rus.).
16. Zhironovich E., Kozlova K., Shkorko M. CLT panel — a promising building material. *Journal of Natural Sciences Research*. 2017; 2(4):89-98. EDN ZWSULN. (rus.).
17. Tretyakov N.V., Vohrameeva P.S. Enclosing structures of a frame building made with the use of CLT-panels. Traditions and innovations in construction and architecture. *Construction : collection of articles*. 2019; 56-61. EDN RQYSZJ. (rus.).
18. Yakunenkov M.S., Osetrina D.A. A possibility of using CLT panels in residential construction for Salekhard. *Modern Construction and Architecture*. 2022; 6:4-9. DOI: 10.18454/mca.2022.30.6.001. EDN OCKEJL. (rus.).
19. Amelchugov S.P., Tarasov I.V., Shubkin R.G., Ivanov D.V., Nikulin M.A. Fire safety of the soundproof wooden CLT panel carrier. *Siberian Fire and Rescue Bulletin*. 2022; 2(25):9-14. DOI: 10.34987/vestnik.sibpsa.2022.35.47.001. EDN NCLUBJ. (rus.).
20. Zaxvatov D.M., Zhantlisov T.A., Ruzaev S.N. Fire hazard assessment of structures made of CLT panels. *Regional problems of geology, geography, technosphere and environmental safety : materials of the IV All-Russian scientific and practical conference*. 2022; 128-132. EDN UVJQOG. (rus.).
21. Zakhvatov D.M., Ruzaev S.N. Fire safety of structures made of CLT panels. *In focus of achievements of youth science : materials of the annual final scientific and practical conference*. 2023; 195-197. EDN CSYXUH. (rus.).
22. Pehotikov A.V., Abashkin A.A., Golkin A.V., Gomozov A.V. Features of fire protection of multi-apartment residential buildings using structures made of cross-laminated wood. *Actual problems of fire safety : proceedings of the XXXV International Scientific and Practical Conference*. 2023; 348-357. EDN OLKFPC. (rus.).
23. Salimullin A.R., Smirnov P.N. Development and research of screwed cross-laminated timber nodal joints for multi-storey buildings. *Bulletin of the Scientific Research Center Construction*. 2022; 1(32):53-64. DOI: 10.37538/2224-9494-2022-1(32)-53-64. EDN HWCQUZ. (rus.).
24. Doroshenko V.A. *Synthesis of the technological structure of automated technological processes of primary wood processing*. Krasnoyarsk, KGTA, 1996; 299. (rus.).
25. Doroshenko V.A., Druk L.V. *Design of distributed control systems : tutorial*. Moscow, Publishing house of Moscow state University of Forestry, 2012; 524. EDN QMXPDP. (rus.).
26. Nesvetaev G.V., Koryanova Yu.I. *Technology of construction of large-panel buildings using modern building material s: tutorial*. Moscow, Publishing House “Academy of Natural Sciences”, 2023; 92. EDN KZKEPQ. (rus.).

Received September 9, 2024.

Adopted in revised form on April 14, 2025.

Approved for publication on April 14, 2025.

**B I O N O T E S :** **Prokopii G. Romanov** — Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Design, Construction, and Technology, Engineering and Technical Institute; **North-Eastern Federal University in Yakutsk (NEFU)**; 58 Belinsky st., Yakutsk, 677000, Russian Federation; ID RSCI: 422161, Scopus: 572158872791, ResearcherID: HDN-7525-2022, ORCID: 0000-0001-7744-592X; pg.romanov@mail.ru.