

Научная статья

УДК 621.866-82

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-3-376-387>

EDN: PGRDGO



АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ И ПАРАМЕТРОВ САМОПОДЪЕМНЫХ ПЛАТФОРМ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

Ф.Р. Крупенин ✉, Е.В. Куракина

Санкт-Петербургский государственный

архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ),

г. Санкт-Петербурга, Россия

✉ ответственный автор

theocharicot@yandex.ru

АННОТАЦИЯ

Введение. Для возведения объектов высотного строительства применяются самоподъемные платформы на основе гидравлического привода, поднимающие опалубку монолитных конструкций. Данные подъемные механизмы различаются по конструктивным особенностям, характеристикам и параметрам. В отрасли возникает необходимость внедрения высокотехнологичных средств. Для создания самоподъемных платформ для высотного строительства необходимо провести исследования в области эксплуатации подъемно-транспортных средств.

Материалы и методы. Для анализа использовались платформы на основе подъемно-переставного профиля. Рассматривались конструктивные особенности указанного типа платформ. В качестве основных параметров были приняты скорость подъема, максимальная высота подъема и грузоподъемность.

Результаты. Для указанного типа платформ получены графические данные об основных конструктивных элементах и процессе подъема. Приводятся графические данные о гидравлической системе, и детально рассматривается механизм перемещения. Выведены основные формулы для определения скорости перемещения платформ и максимальной грузоподъемности, необходимых при выборе указанных подъемно-транспортных средств.

Обсуждение и заключение. Наличие факторов, влияющих на скорость перемещения платформ и их максимальную грузоподъемность, дает основания для разработки метода расчета и проектирования рассматриваемых транспортно-технологических средств на территории Российской Федерации. Одним из путей развития данных подъемно-транспортных средств является интегрирование в их конструкцию вспомогательных механизмов для проведения сопутствующих работ при возведении высотных сооружений, тем самым формируя единый транспортно-технологический комплекс.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: подъемно-транспортные механизмы, гидравлические машины, гидравлические цилиндры, средства механизации строительства, самоподъемная опалубка, высотное строительство, самоподъемные системы, подъемное оборудование, строительное оборудование

БЛАГОДАРНОСТИ. Авторы выражают благодарность Пыригу Константину Николаевичу за помощь в сборе информации о конструктивных особенностях и технических характеристиках самоподъемных платформ, а также рецензентам.

Статья поступила в редакцию 05.04.2024; одобрена после рецензирования 13.05.2024; принята к публикации 06.04.2024.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах. Конфликт интересов отсутствует.

Для цитирования: Крупенин Ф.Р., Куракина Е.В. Анализ конструкций и параметров самоподъемных платформ и перспективы развития // Вестник СибАДИ. 2024. Т. 21, № 3. С. 376-387. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-3-376-387>

© Крупенин Ф.Р., Куракина Е.В., 2024

Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0 License.

Origin article
DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-3-376-387>
EDN: PGRDGO

ANALYSIS OF STRUCTURES AND MOVEMENT PARAMETRES OF SELF-CLIMBING PLATFORMS AND DEVELOPMENT PROSPECTS

Fedor R. Krupenin ✉, **Elena V. Kurakina**

*Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering,
Saint Petersburg, Russia*
✉ *corresponding author*
theoharicot@yandex.ru

ABSTRACT

Introduction. For high-rise building construction self-climbing platforms based on hydraulic drive are used, lifting the formwork for monolithic structures. These lifting mechanisms differ in structures, characteristics and parameters. There is a need to introduce high-tech equipment in the industry. To create self-climbing platforms for high-rise construction, it is necessary to conduct research in the field of operation of lifting vehicles.

Materials and methods. Platforms based on climbing profile for the analysis were used. The design features of the specified type of platforms were considered. The main parameters were speed of lifting, maximum lifting height and load capacity.

Results. Graphical data on the main structural elements and the lifting process were obtained the specified type of platforms. Graphical data on hydraulic system is provided and the mechanism of movement is considered in detail. The basic formulas for determining the platform lifting speed and maximum load capacity required for the choosing of specified lifting vehicles.

Discussion and conclusion. Existence of factors affecting the lifting speed of platforms and their maximum load capacity provides grounds for the development of a method for calculating and designing the considered transport and technological equipment in Russian Federation. One of the ways to develop this lifting equipment is integration of accessory mechanisms into their structure for fulfilling additional works during the construction of high-rise buildings, in this way forming a single transport and technological complex.

KEYWORDS: materials-handling machines, hydraulic engine, hydraulic cylinder, mechanical equipment for construction, self-climbing formwork, high-rise construction, self-climbing systems, construction equipment

ACKNOWLEDGEMENTS. The authors are grateful to Konstantin Nikolayevich Pyrig for his help in collecting information on the design features and technical characteristics of jack-up platforms, and to the reviewers.

The article was submitted 05.04.2024; approved after reviewing 13.05.2024; accepted for publication 04.06.2024.

All authors have read and approved the final manuscript.

Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.

For citation. Krupenin F.R., Kurakina E.V. Analysis of structures and movement parametres of self-climbing platforms and development prospects. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2024; 21(3): 376-387. <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2024-21-3-376-387>

© Krupenin F.R., Kurakina E.V., 2024



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0 License.

ВВЕДЕНИЕ

В современном высотном строительстве все большее внимание уделяется разработке и применению инновационных технологий, в частности, введению новых средств механизации, позволяющих снизить трудоемкость работ, сократить сроки возведения сооружения и повысить экономическую эффективность проекта [1, 2]. Большинство высотных зданий в мире возводится с применением средств механизации опалубочных работ на основе гидравлического привода [3]. Одним из таких наиболее эффективных подъемно-транспортных средств являются самоподъемные гидравлические платформы.

Самоподъемная гидравлическая платформа – это технически сложная система, применяемая для перемещения на следующий этап ведения работ строительного оборудования – опалубки монолитных конструкций ядра жесткости высотного здания без её отсоединения от платформы и без использования крана. Кроме того, конструкции данной платформы могут использоваться как временные площадки складирования строительного инвентаря, а также с них могут вестись работы по армированию и бетонированию монолитных конструкций. Данное подъемно-транспортное средство представляет собой комплексную систему, состоящую из стальных пространственных конструкций каркаса платформы и подъемной гидравлической системы, в которой механизм подъема может быть выполнен либо на основе подъемно-переставного профиля с использованием гидравлических цилиндров малой грузоподъемности, либо на основе цилиндров высокой грузоподъемности с их непосредственной интеграцией в конструкцию платформы. Использование данных транспортно-технологических средств позволяет повысить технико-экономические показатели строительного проекта за счет снижения затрат кранового времени и уменьшения количества выполняемых операций, связанных с возведением монолитных конструкций [4, 5].

С точки зрения определения самоподъемную гидравлическую платформу можно классифицировать как опалубку с шахтным подъемником, опираясь на ГОСТ Р 52086–2003. Однако, поскольку данная система имеет в своем составе шахтный подъемник с гидравлическим приводом, то, согласно

ГОСТ 33558.1–2015, её можно отнести к строительным подъемникам – подъемным машинам с установленными на них грузоподъемными механизмами. Таким образом, самоподъемная платформа является грузоподъемной машиной с объемным гидравлическим приводом, способной перемещать полезный груз в пределах этапа работ возводимого здания, одновременно позволяя своей конструкции передвигаться вертикально вверх по мере возведения строительного объекта¹.

Анализ современных источников показывает, что данная тема является малоизученной с точки зрения определения и расчета основных параметров перемещения данных платформ, а именно скорости перемещения платформ, максимальной высоты подъема и предельной грузоподъемности, а также факторов, влияющих на данные параметры. Более того, остаются нерешенные вопросы в методах расчета и проектирования указанных подъемно-транспортных средств, в частности, сборе и приложении нагрузок к конструкциям платформ и в выборе основных расчетных комбинаций, которые должны соответствовать требованиям обеспечения безопасной эксплуатации на территории Российской Федерации. В дополнение к вышеперечисленному остается ряд задач, связанных с подбором гидравлического оборудования, необходимого для вертикального передвижения данных систем по мере возведения строительного объекта.

Важно учитывать факторы, влияющие на скорость возведения здания при использовании самоподъемной системы опалубки на основе гидравлической платформы:

- конструктивный фактор;
- фактор обученности персонала;
- фактор погодных условий [6].

При этом отсутствуют данные о факторах, влияющих непосредственно на скорость перемещения самой гидравлической платформы. Существуют зарубежные исследования различных типов самоподъемных систем, не включающих исследования рассматриваемых платформ, при действии различных типов нагрузок, в частности, при воздействии статической нагрузки [7]. Вместе с тем важным условием применения самоподъемных систем является их способность противостоять динамическим нагрузкам – ветровым и сейсмическим, что немаловажно, поскольку данные

¹ Наземные транспортно-технологические машины и комплексы: учебник для вузов / С.А. Евтюков, С.С. Евтюков, А.В. Чудаков, Е.В. Куракина. Санкт-Петербург: ИД «Петрополис», 2017. 644 с

системы применяются на значительной высоте и в различных регионах ведения работ [8, 9, 10]. Кроме того, так как элементы рассматриваемых подъемно-транспортных механизмов используются постоянно – на различных проектах и при разных условиях, их прочность является главным условием безопасной эксплуатации [11].

Одним из направлений развития самоподъемных систем является применение новых материалов и конструкций, облегчающих вес системы, повышая тем самым максимальную грузоподъемность подъемного механизма [12]. Нельзя не упомянуть, что проектирование данных подъемно-транспортных средств необходимо рассматривать с учетом характеристик высотных зданий [13]. Стоит также отметить, что специалистами из КНР был проведен ряд исследований непосредственно самоподъемных платформ, включающих расчет конструкции при запаздывании подъема одного из гидравлических цилиндров [14]. Отдельно нужно сказать, что одной из современных гидравлических платформ является так называемая High-Rise Building Machine (с англ. машина для высотного строительства), разработанная специалистами из КНР, которая, помимо собственного веса и веса полезного груза, может также включать в себя дополнительные подъемно-транспортные машины, такие как интегрированные в систему краны [15, 16].

Однако, чем более технологичным и функциональным становится механизм, тем больше он нуждается в современных средствах контроля за различными параметрами, такими как датчики контроля положения машины в процессе работы и средствами контроля равномерности перемещения [17]. Помимо введения в систему средств контроля и управления, важным аспектом является автоматизация работы данных платформ, которая положительным образом сказывается на их эффективности использования [18]. Введение указанных средств в систему гидравлического привода также является перспективным направлением развития самоподъемных платформ, поскольку позволяет контролировать процесс подъема, избегая непредвиденных ситуаций в случае внезапного отказа оборудования.² Тем не менее основным фактором, влияющим на качество и безопасность работ, остается следование инструкциям по эксплуатации и со-

блюдение техники безопасности при работе с вышеперечисленными подъемно-транспортными механизмами [19].

В связи с вышеизложенным данная научная статья посвящена анализу конструкций и параметров перемещения самоподъемных гидравлических платформ для возведения высотных зданий. В данной работе рассматриваются самоподъемные платформы на основе подъемно-переставного профиля (Тип 1), поскольку для анализа платформ с интегрированными гидроцилиндрами (Тип 2) и сравнительного анализа указанных типов требуется проведение дополнительного исследования. Актуальность проблемы исследования также объясняется ограничением на импорт технологий и оборудования из западных стран, сравнительный анализ конструкций и параметров перемещения самоподъемных платформ для возведения высотных зданий становится особенно важным для создания альтернативных подъемно-транспортных средств для высотного строительства на территории Российской Федерации и определения новых подходов к решению технических задач.

Для достижения поставленной в работе цели были решены следующие задачи:

- анализ конструкций самоподъемных платформ на основе подъемно-переставного профиля;
- исследование параметров и принципов работы платформ указанного типа;
- исследование технических характеристик самоподъемных платформ, включая грузоподъемность, высоту подъема и скорость перемещения; оценка преимуществ и недостатков рассмотренного типа платформ.

Результаты данного исследования важны для инженеров, занимающихся проектированием современных механизированных грузоподъемных средств для высотного строительства, а также для работников строительной отрасли, их эксплуатирующих. Полученные результаты могут способствовать созданию отечественных транспортно-технологических комплексов для высотного строительства, обеспечивающих потребности отрасли, что приведет к применению более эффективных и безопасных конструкций самоподъемных платформ, повышающих производительность и снижающих затраты при возведении высотных сооружений.

² Сысоев А.В. Совершенствование технологии монолитного домостроения на основе методов и средств автоматизации опалубочных работ: дис... канд. техн. наук: 05.23.08. Нижний Новгород, 2006. 167 с

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Самоподъемные гидравлические платформы представляют собой жесткую пространственную конструкцию, состоящую из верхней платформы, к которой крепится перемещаемая опалубка и на которой может располагаться дополнительный полезный груз, вертикальных несущих элементов, поддерживающих платформу, и горизонтальных элементов крепления платформы к возводимому зданию, также выполняющих функцию опорных элементов в ходе процесса перемещения всего транспортного средства. В качестве силового привода используется гидравлическая система, включающая в себя гидравлический агрегат, магистральные линии, непосредственно гидравлические цилиндры подъема, а также элементы, такие как подъемно-переставные профили и рычажные стопорные механизмы или специальные детали, служащие для соединения конструкции платформы с гидравлическим приводом и создания подъемно-транспортного средства.

Для сравнительного анализа рассмотрены самоподъемные гидравлические платформы DOKA, а именно самоподъемная платформа Типа 1: SKE100 plus (Selbstklettereinheit – с нем. самоподъемный элемент) с системой ги-

дравлического привода на базе подъемно-переставного профиля.

Выполнен систематический сбор данных по рассматриваемому типу подъемно-транспортных средств с целью выявления их конструктивных особенностей и параметров перемещения, таких как максимальная высота подъема и грузоподъемность, а также для определения их скорости перемещения и факторов, способных повлиять на равномерность подъема. Приведены формулы расчета скорости подъема, на основании которых рассчитывается производительность грузоподъемного механизма.

Дано графическое представление о конструкции, силовом приводе и процессе эксплуатации данных подъемно-транспортных средств, в частности, для процесса перемещения. Представлены основные схемы рассматриваемых механизмов, показаны их конструктивные особенности.

Полученные данные проанализированы на предмет определения достоинств и недостатков рассматриваемого типа самоподъемных платформ с целью выявления направлений их развития и усовершенствования, которые способствуют проектированию и производству новых транспортно-технологических средств для высотного строительства.

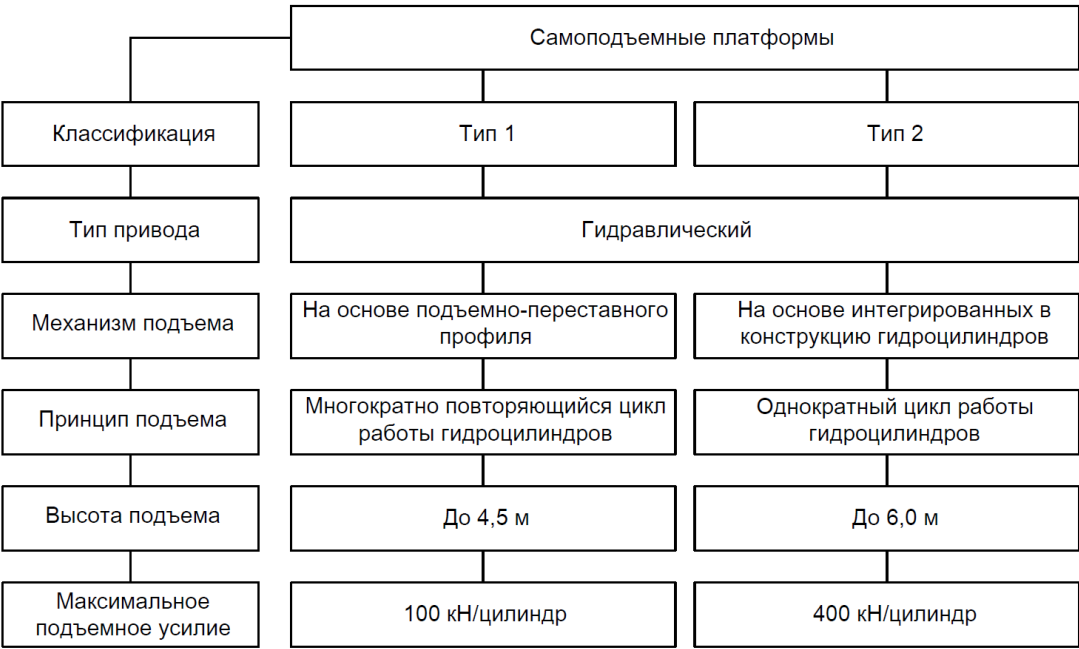


Рисунок 1 – Классификация самоподъемных платформ
Источник: составлено авторами.

Figure 1 – Self-climbing platforms classification
Source: compiled by the authors.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Самоподъемные платформы для высотного строительства подразделяются на два типа:

- с механизмом перемещения на основе подъемно-переставного профиля (Тип 1);
- с интегрированными в конструкцию платформы гидроцилиндрами (Тип 2).

Данные типы различаются по конструктив-

ным особенностям, механизмам и принципам подъема, параметрам перемещения, а именно скорости, а также по основным характеристикам, таким как максимальная высота подъема и общая грузоподъемность платформы. Классификация рассматриваемых подъемно-транспортных средств приведена в виде схемы на рисунке 1.

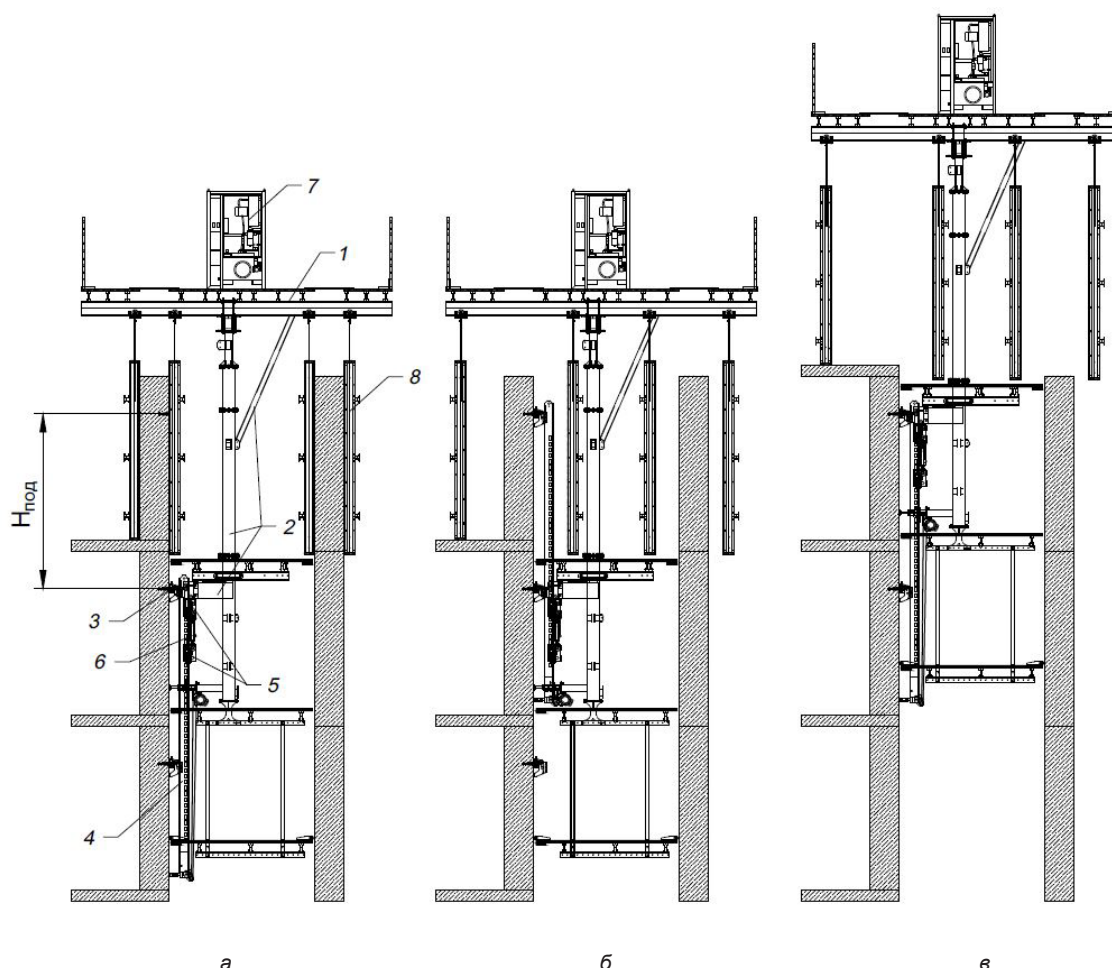


Рисунок 2 – Общий вид и порядок подъема платформы Типа 1:
 а – общий вид; б – вертикальное перемещение подъемно-переставного профиля;
 в – вертикальное перемещение конструкций платформы;
 1 – стальной каркас платформы;
 2 – вертикальные конструкции платформы;
 3 – опорный элемент и закладная деталь в бетонных конструкциях;
 4 – подъемно-переставной профиль; 5 – подъемные механизмы;
 6 – гидроцилиндр; 7 – гидравлический агрегат;
 8 – подвешиваемый груз-опалубка; $H_{\text{под}}$ – высота подъема платформы
 Источник: составлено авторами.

Figure 2 – General view and order of climbing platform Type 1:
 а – general view; б – lifting of climbing profile;
 в – lifting of the platform; 1 – steel gantry;
 2 – vertical units of platform; 3 – suspension element with anchor point;
 4 – climbing profile; 5 – lifting mechanisms; 6 – hydraulic cylinder;
 7 – hydraulic unit; 8 – suspended load-formwork;
 $H_{\text{под}}$ – height of the platform lifting;
 Source: compiled by the authors.

САМОПОДЪЕМНЫЕ ПЛАТФОРМЫ ТИПА 1

Принцип подъема данных платформ 1 заключается в перемещении подъемно-переставного профиля от исходной точки до следующей точки крепления, устроенной в забетонированных конструкциях, и последующем перемещении вертикальных конструкций и самой платформы на следующий этап ведения работ (рисунок 2). Полезный груз, в данном случае опалубка, крепится непосредственно к каркасу платформы, и перемещается совместно с ней, тем самым снижая затраты на использование кранового времени по транспортировке опалубки с уровня земли на рабочий горизонт и уменьшая трудоемкость по ведению бетонных работ, в частности, работ по опалубливанию монолитных конструкций. Данное преимущество рассматриваемых подъемно-транспортных средств является особенно важным при ведении работ на значительной высоте.

Подъем указанной платформы осуществляется посредством системы объемного гидравлического привода, интегрированного в её конструкцию. Гидравлическая система (рисунок 3) выполнена по замкнутому принципу и состоит из гидравлического агрегата, включающего в себя: масляной бак, гидравлический насос, фильтры, манометры, индикаторы работы гидроагрегата и клапаны; напорной и сливной гидравлических линий, образующих кольцевой трубопровод; гидравлических делителей потока на обе линии, представляющих из себя полые элементы без элементов регулирования расхода, через которые проходят рабочие линии от гидроагрегата и из которых выходят магистрали, идущие непосредственно в поршневые и штоковые полости силовых гидроцилиндров двустороннего действия. Верхняя серьга цилиндра через специальный подъемный механизм соединена с вертикальными конструкциями платформы, нижняя серьга, расположенная на штоке, также через подъемный механизм соединена с подъемно-переставным профилем, в котором имеются отверстия для зацепления со стопором подъемного механизма. Длина выдвижения штока гидроцилиндра составляет 300 мм.

Так как в делителях потока отсутствуют элементы регулирования расхода рабочей жидкости, то при различных нагрузках, приходящихся на шток цилиндра, скорость выдвижения штоков будет различной. Единственным элементом регулирования расхода являются шаровые краны, установленные на гидроцилиндрах в точке входа напорной линии в поршневую полость.

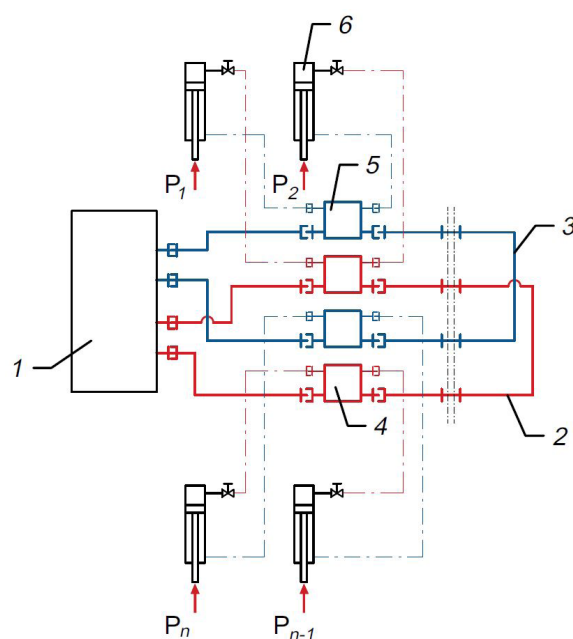


Рисунок 3 – Гидравлическая схема платформы Типа 1:
1 – гидравлический агрегат; 2 – напорная магистраль;
3 – сливная магистраль;
4 – делитель потока напорной линии;
5 – делитель потока сливной линии; 6 – гидроцилиндр;
 $P_1, \dots, P_n$ – усилия на штоках цилиндров
Источник: составлено авторами.

Figure 3 – Hydraulic circuit of platform Type 1:
1 – hydraulic unit; 2 – pressure line;
3 – return line; 4 – pressure line distributor;
5 – return line distributor; 6 – hydraulic cylinder;
 $P_1, \dots, P_n$ – forces on cylinder rods;
Source: compiled by the authors.

Подъем профиля (рисунок 4, а) производится при верхнем положении рычага стопора. В данном положении рычага стопор зацепляется с верхней гранью отверстия на подъемно-переставном профиле. При подаче рабочей жидкости в поршневую полость цилиндра шток начинает двигаться вниз, пока не достигнет верхней грани отверстия, находящегося на расстоянии не более длины выдвижения штока, в данном случае 240 мм, поскольку шаг прорезей равен 120 мм. Верхний подъемный механизм остается неподвижным, поскольку он соединен с платформой, которая закреплена на забетонированных конструкциях, иначе говоря, платформа служит опорной точкой для подъема профиля. После зацепления стопора нижнего подъемного механизма с верхней гранью отверстия производится переключение подачи рабочей жидкости в штоковую полость цилиндра. Шток начинает перемещаться вверх, поднимая за счет стопорного механизма профиль.

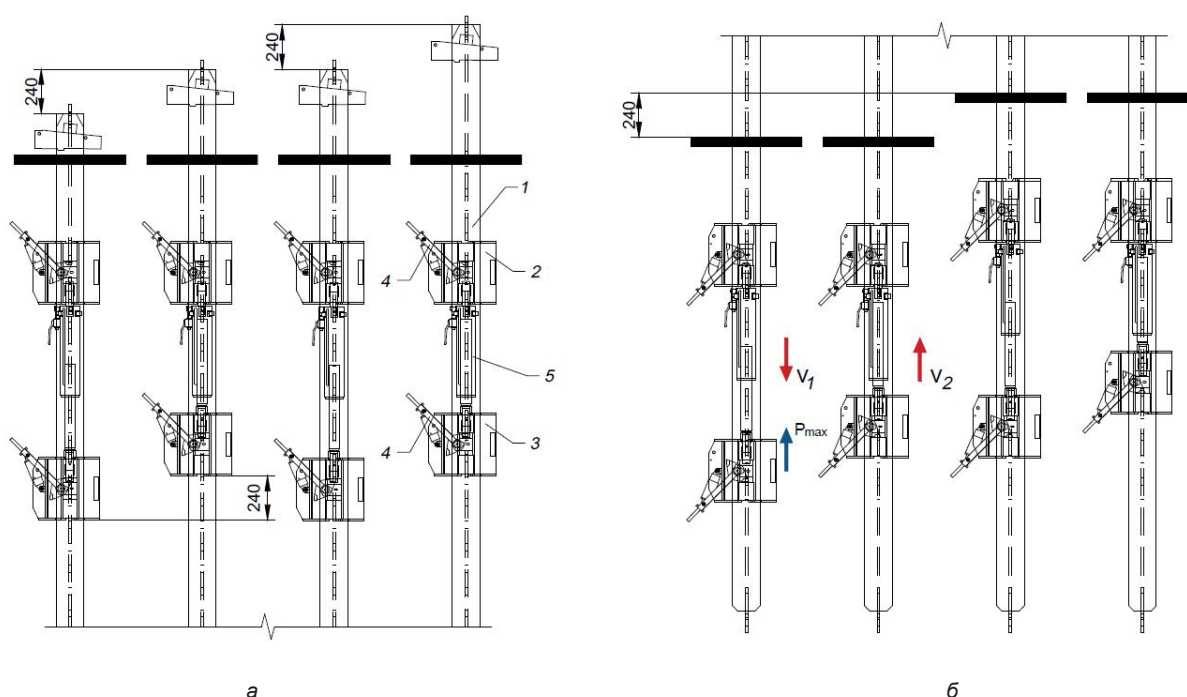


Рисунок 4 – Процесс подъема платформы Типа 1:
 а – подъем направляющего профиля; б – подъем платформы;
 1 – подъемно-переставной профиль; 2 – верхний подъемный механизм;
 3 – нижний подъемный механизм;
 4 – стопор с рычагом; 5 – гидроцилиндр;
 V_1 – скорость выдвижения штока самого нагруженного цилиндра;
 V_2 – скорость втягивания штока самого нагруженного цилиндра;
 P_{max} – усилие на штоке самого нагруженного цилиндра
 Источник: составлено авторами.

Figure 4 – Climbing process of platform Type 1:
 а – lifting of profile; б – lifting of platform;
 1 – climbing profile; 2 – upper lifting mechanism;
 3 – lower lifting mechanism; 4 – stopper with lever; 5 – hydraulic cylinder;
 V_1 – extension rod speed of the most loaded cylinder;
 V_2 – retraction rod speed of the most loaded cylinder;
 P_{max} – force on the rod of the most loaded cylinder;
 Source: compiled by the authors.

Стопор верхнего механизма зацепляется с верхней гранью отверстия профиля, которое переместилось на указанное расстояние, тем самым удерживая его от перемещения вниз. Далее цикл работы гидроцилиндра повторяется, пока подъемно-переставной профиль не достигнет следующей по высоте точки крепления платформы.

Подъем конструкций самой платформы (рисунок 4, б) происходит по аналогичному принципу, однако для данной операции рычаг стопорного механизма переводится в нижнее положение. В этом случае зацепление стопора с профилем происходит по нижней грани отверстия, а сам подъемный профиль и нижний механизм в момент подъема становятся опорной точкой для цилиндра. При движении штока цилиндра вниз происходит перемеще-

ние платформы вверх, до зацепления стопора верхнего механизма с гранью следующего отверстия. Когда платформа через стопорный механизм закрепляется на профиле, происходит переключение подачи жидкости в штоковую полость цилиндра, и шток начинает двигаться вверх до зацепления с нижней гранью следующего отверстия. Цикл работы гидроцилиндра повторяется, пока платформа не достигнет следующей точки закрепления.

Для определения скорости перемещения самоподъемной платформы Типа 1 рассмотрена скорость перемещения самой платформы, без учета скорости перемещения подъемно-переставного профиля (см. рисунок 4, б). Поскольку рассматриваемая платформа представляет собой объемную пространственную конструкцию, то нагрузка, действующая на

штоки цилиндров, будет различной. Дополнительно из-за износа цилиндров, а также их исполнения при выдвигании штока в цилиндрах будут возникать различные силы трения. Как было указано ранее, в делителях потока, установленных на рабочих магистралях, отсутствуют элементы регулирования расхода рабочей жидкости, и вследствие данного факта средняя скорость подъема платформы будет зависеть от скорости выдвигания штока самого нагруженного цилиндра, поскольку его шток будет двигаться медленнее остальных.

Высота подъема платформы зависит от длины используемого подъемно-переставного профиля, а также от условий строительного объекта, чаще всего высота подъема равна высоте этажа возводимого здания, однако в некоторых ситуациях, при нетиповых конструктивных решениях здания, данная высота может изменяться, иначе говоря, высота подъема платформы равна расстоянию между точками крепления платформы к монолитным конструкциям.

Средняя скорость перемещения платформы Типа 1, с,

$$v_{\text{ср}} = \frac{H_{\text{под}}}{T_{\text{под}}},$$

где $H_{\text{под}}$ – высота подъема, мм; $T_{\text{под}}$ – общее время подъема платформы, с.

$$T_{\text{под}} = n_{\text{цикл}} \times t_{\text{ц}},$$

где $n_{\text{цикл}}$ – количество циклов работы цилиндров; $t_{\text{ц}}$ – время одного цикла работы самого нагруженного цилиндра, с.

$$n_{\text{цикл}} = \frac{H_{\text{под}}}{240},$$

$$t_{\text{ц}} = k_{\text{п}} \times \left(\frac{240}{v_1} + \frac{240}{v_2} + t_{\text{п}} \right),$$

где $k_{\text{п}}$ – коэффициент, учитывающий потери времени на выравнивание платформы вследствие неравномерности подъема ($k_{\text{п}} > 1$); v_1 – скорость выдвигания штока самого нагруженного цилиндра, мм/с; v_2 – скорость втягивания штока самого нагруженного цилиндра, мм/с; $t_{\text{п}}$ – время, затрачиваемое на переключение подачи рабочей жидкости в поршневую или штоковую полость цилиндра.

Значения нагрузок на шток гидравлического цилиндра можно получить, используя метод конечных элементов, создав простран-

ственную расчетную модель платформы. Зная нагрузки на шток цилиндра, а также характеристики гидравлического агрегата, напорных магистралей и самих цилиндров, можно найти значения скоростей v_1 и v_2 .

Как видно из приведенных формул, на среднюю скорость подъема платформы оказывает влияние неравномерность нагружения цилиндров гидравлического привода. Кроме того, неравномерность подъема может оказать влияние и на конструкцию самой платформы, поскольку при разной скорости хода штоков цилиндров происходит перераспределение напряжений в несущих конструкциях, что может привести к аварийным ситуациям. Также вследствие неравномерного хода штоков цилиндров, перераспределение усилий может вызвать разрушение опорной бетонной поверхности, к которой крепятся конструкции платформы.

Данный недостаток можно решить, введя в систему элементы регулирования расхода рабочей жидкости. Дополнительно, в целях автоматизации системы, можно ввести элементы контроля и управления за подъемом, позволяющие отслеживать положение платформы в данный промежуток времени, тем самым снизив количество рабочего персонала, требуемого для проведения процесса перемещения, так как контроль за подъемом платформы осуществляется только визуально силами работников строительного объекта.

Максимальное подъемное усилие, которое способен развить один цилиндр системы SKE100 plus, составляет 100 кН. Максимальная теоретическая грузоподъемность всей платформы, Кн:

$$G_{\text{max}} = k_{\text{н}} \times n_{\text{цил}} \times P_{\text{ц}} - G_{\text{св}},$$

где $k_{\text{н}}$ – коэффициент, учитывающий неравномерность нагружения цилиндров вследствие перераспределения усилий в пространственной конструкции платформы ($k_{\text{н}} < 1$); $n_{\text{цил}}$ – количество цилиндров, используемых для перемещения самоподъемной платформы; $P_{\text{ц}}$ – максимальное подъемное усилие, которое способен развить один цилиндр, кН; $G_{\text{св}}$ – собственный вес самоподъемной платформы, кН.

Фактическую грузоподъемность платформы можно также определить, используя метод конечных элементов, где в пространственной расчетной схеме штоки цилиндров будут являться опорами конструкции платформы. Условием подъема платформы будет являться значение реакции на опоре меньше максимального подъемного усилия цилиндра.

Исходя из приведенной формулы видно, что на максимальную грузоподъемность системы также влияет неравномерность нагружения гидроцилиндров, участвующих в процессе подъема. Соответственно, важным аспектом при проектировании транспортно-технологических средств такого типа является распределение цилиндров по поверхности платформы таким образом, чтобы усилия, которые возникают на штоках цилиндров, были равны или максимально близки по значению между собой.

ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ полученных результатов позволил сделать вывод о влиянии на скорость подъема скорости выдвижения штока самого нагруженного цилиндра. Данная неравномерная загруженность цилиндров учитывается введением коэффициента, увеличивающего время одного цикла из-за остановок движения при подъеме для достижения запаздывающими штоками необходимой длины выдвижения. Дополнительным фактором, влияющим на скорость, является цикличность работы цилиндров при подъеме. В платформах Типа 1 подъем происходит циклично попеременной работой цилиндров, вследствие этого время подъема увеличивается, поскольку оператору необходимо затрачивать время на переключение подачи рабочей жидкости в различные полости цилиндров.

Фактическая грузоподъемность платформ Типа 1 зависит от максимального подъемного усилия, развиваемого одним гидроцилиндром. Однако, как и в случае со скоростью платформы, неравномерная загруженность также влияет на значение грузоподъемности, вследствие чего в формулу вводится понижающий коэффициент.

Важно отметить, что каркас подъемно-транспортных средств представляет собой жесткую пространственную конструкцию, в которой в процессе подъема гидравлические цилиндры играют роль опор. Благодаря этому при проектировании таких средств требуется учитывать пространственную работу их конструкций таким образом, чтобы соблюдалось условие равномерной загруженности гидроцилиндров, поскольку данный фактор влияет как на скорость подъема, так и на грузоподъемность всего подъемно-транспортного средства, иначе говоря, усилия, приходящиеся на цилиндры, должны быть равны или максимально близки между собой по значению.

К недостаткам данных подъемно-транспортных средств следует отнести то, что дан-

ный тип платформ не имеет в своем составе средств контроля и управления, в частности средств регулирования расхода поступающей в цилиндры рабочей жидкости, что вызывает неравномерность движения штоков цилиндров и, как следствие, влияет на скорость подъема платформы. Также в целях упрощения процесса подъема и снижения количества работников, участвующих в процессе подъема, в рассматриваемые средства стоит вводить датчики контроля положения платформ в каждый конкретный момент времени.

С точки зрения рекомендаций при проектировании такого рода транспортно-технологических средств следует отметить следующие аспекты:

1. Оптимальное проектирование данных подъемно-транспортных средств должно проводиться исходя из условия равномерной загруженности цилиндров гидравлического привода.

2. Для оптимальной работы данных подъемно-транспортных средств в них необходимо включать различные средства автоматизации, такие как датчики регулирования расхода рабочей жидкости и датчики положения платформы.

3. Одним из возможных путей развития рассматриваемых платформ является введение в их систему дополнительных технологических средств, среди которых могут быть самоподъемные краны, манипуляторы различного рода и интегрированные в систему бетонораздаточные стрелы, образующие единый транспортно-технологический комплекс для возведения объектов высотного строительства.

В заключение важно отметить, что проектирование и производство самоподъемных платформ либо транспортно-технологических комплексов на их основе является технически сложным процессом, при котором необходимо учитывать аспекты из области строительного машиностроения и строительства.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Хряпченкова И.Н., Зотов Д.С. Сравнение автоматизированных опалубочных систем, применяемых для возведения ядер жесткости высотных зданий // STUDNET.2021. №4(6). С. 2096–2109.
2. Жорник М.А., Гамаюнова О.С. Высокоростное строительство высотных зданий // Высокие технологии в строительном комплексе. 2021. № 1. С. 115–123.
3. Aldred J. (2010). Burj Khalifa – A new high for high- Performance concretej. Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Civil Engineering, 163(2). <https://doi.org/10.1680/cien.2010.163.2.66>

4. Куракова О. Применение опалубочных систем в высотном строительстве // *E3S Web of Conferences*. 2018. 33. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183303026>
5. Савенко А.А., Михеев Г.В. Технологии гидравлической самоподъемной опалубки при возведении сложных монолитных конструкций // *Современные технологии*. 2022. С. 33–35.
6. Крупенин Ф.Р. Факторы, влияющие на использование самоподъемной опалубки в области высотного строительства // *AlfaBuild*. 2023. №3(28) doi: 10.57728/ALF.28.1
7. Venkat Ramanan R, Ramesh Kannan M. Static Analysis of Climbing Formwork System for High-Rise Building Construction. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*. 2020; 8(6). DOI:10.35940/ijrte.D7608.038620
8. Yao G., Guo H., Yang Y., Xiang C., & Robert S. Dynamic Characteristics and Time-History Analysis of Hydraulic Climbing Formwork for Seismic Motions. *Advances in Civil Engineering*. 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/2139153>
9. Xia J. W., Yao Y. L., Wu X. S., & Chen Y. H. Calculation and Analysis of hydraulic automatic climbing formwork equipment for super high-rise building construction. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*. 2021; 62(1). <https://doi.org/10.20898/j.iass.2021.003>
10. Hu Shicheng, Li Jun. Analysis of dynamic characteristics of climbing formwork under wind loads. *E3S Web Conf*. 2019. 79. 01016. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20197901016>
11. Yao G., Wang Z., & Yang Y. Design and mechanical analysis of hydraulic incremental slipforming platform with sliding frame. *Vibroengineering Procedia*. 2021; 36. <https://doi.org/10.21595/vp.2021.21903>
12. Hong G. H., & Jung, S. W. Development of auto-climbing formwork system for composite core walls. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*. 2022; 21(2). <https://doi.org/10.1080/13467581.2020.1869022>
13. Zhang K., Wang H., Wang K., Cui J., Chen B., & Li, D. Significant progress in construction equipment of super high-rise building. *International Journal of High-Rise Buildings*. 2018; 7(3). <https://doi.org/10.21022/IJHRB.2018.7.3.243>
14. Baitian Wang, Hongjuan Zhao, Qiyu Li, Junjie Sun, D.C. Zhang. Safety Analysis of Formwork System in Core Tube Construction of Super High-rise Building. *Forest Chemicals Review*. July-August 2022: 1521–1543. www.forestchemicalsreview.com
15. Pan X, Zhao T, Li X, Zuo Z, Zong G, Zhang L. Automatic Identification of the Working State of High-Rise Building Machine Based on Machine Learning. *Applied Sciences*. 2023; 13(20): 11411. <https://doi.org/10.3390/app132011411>
16. Dai L., & Liao B. The Research and Application of Innovative High Efficient Construction Technologies in Super High Rise Steel Structure Building. *International Journal of High-Rise Buildings*. 2014; 3(3): 205–214. <https://doi.org/10.21022/IJHRB.2014.3.3.205>
17. Pan X., Huang J., Zhang Y., Zuo, Z., Zhang L. Prediction of the Posture of High-Rise Building Machine Based on Multivariate Time Series Neural Network Models. *Preprints*. 2024, 2024011591. <https://doi.org/10.20944/preprints202401.1591.v1>
18. Nguyen V.T., Nguyen K.A., & Nguyen V.L. An improvement of a hydraulic self-climbing formwork. *Archive of Mechanical Engineering*. 2019; 66(4). <https://doi.org/10.24425/ame.2019.131419>
19. Liu X., Hu Y., Chen D., & Wang L. Safety control of hydraulic self-climbing formwork in south tower construction of Taizhou Bridge. *Procedia Engineering*. 2012; 45. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.08.152>

REFERENCES

1. Khryapchenkova i.n., Zotov d.s. Comparison of automated formwork systems used to erect high-rise building hardness cores. *Studnet*. 2021; 4(6): 2096 – 2109. (In Russ.)
2. Zhornik M.A., Gamayunova O.S. High-speed construction of high-rise buildings. High technologies in the construction complex. 2021; 1(2021): 115–123. (In Russ.)
3. Aldred, J. Burj Khalifa – A new high for high-Performance concretej. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Civil Engineering*. 2010. 163(2). <https://doi.org/10.1680/cien.2010.163.2.66>
4. Kurakova O. Use of formwork systems in high-rise construction. *E3S Web of Conferences*. 2018. 33. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183303026> (In Russ.)
5. Savenko A.A., Mikheev G.V. Technologies of hydraulic self-climbing formwork in construction of complex monolithic structures. *Sovremennye tehnologii*. 2022: 33–35. (In Russ.)
6. Krupenin F. Factors influencing the use of self-lifting formwork in the field of high-rise construction. *AlfaBuild*. 2023; 28 Article No 2801. doi: 10.57728/ALF.28.1 (In Russ.)
7. Venkat Ramanan R, Ramesh Kannan M. Static Analysis of Climbing Formwork System for High-Rise Building Construction. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*. 2020; 8(6). DOI:10.35940/ijrte.D7608.038620
8. Yao G., Guo H., Yang Y., Xiang C., & Robert S. Dynamic Characteristics and Time-History Analysis of Hydraulic Climbing Formwork for Seismic Motions. *Advances in Civil Engineering*. 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/2139153>
9. Xia J. W., Yao Y. L., Wu X. S., & Chen Y. H. Calculation and Analysis of hydraulic automatic climbing formwork equipment for super high-rise building construction. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*. 2021; 62(1). <https://doi.org/10.20898/j.iass.2021.003>
10. Hu Shicheng, Li Jun. Analysis of dynamic characteristics of climbing formwork under wind loads. *E3S Web Conf*. 2019. 79. 01016. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20197901016>
11. Yao G., Wang Z., & Yang Y. Design and mechanical analysis of hydraulic incremental slipforming

platform with sliding frame. *Vibroengineering Procedia*. 2021; 36. <https://doi.org/10.21595/vp.2021.21903>

12. Hong G. H., & Jung, S. W. Development of auto-climbing formwork system for composite core walls. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*. 2022; 21(2). <https://doi.org/10.1080/13467581.2020.1869022>

13. Zhang K., Wang H., Wang K., Cui J., Chen B., & Li, D. Significant progress in construction equipment of super high-rise building. *International Journal of High-Rise Buildings*. 2018; 7(3). <https://doi.org/10.21022/IJHRB.2018.7.3.243>

14. Baitian Wang, Hongjuan Zhao, Qiyu Li, Junjie Sun, D.C. Zhang. Safety Analysis of Formwork System in Core Tube Construction of Super High-rise Building. *Forest Chemicals Review*. July-August 2022: 1521–1543. www.forestchemicalsreview.com

15. Pan X, Zhao T, Li X, Zuo Z, Zong G, Zhang L. Automatic Identification of the Working State of High-Rise Building Machine Based on Machine Learning. *Applied Sciences*. 2023; 13(20):11411. <https://doi.org/10.3390/app132011411>

16. Dai L., & Liao B. The Research and Application of Innovative High Efficient Construction Technologies in Super High Rise Steel Structure Building. *International Journal of High-Rise Buildings*. 2014; 3(3): 205–214. <https://doi.org/10.21022/IJHRB.2014.3.3.205>

17. Pan X., Huang J., Zhang Y., Zuo, Z., Zhang L. Prediction of the Posture of High-Rise Building Machine Based on Multivariate Time Series Neural Network Models. *Preprints*. 2024, 2024011591. <https://doi.org/10.20944/preprints202401.1591.v1>

18. Nguyen V.T., Nguyen K.A., & Nguyen V.L. An improvement of a hydraulic self-climbing formwork. *Archive of Mechanical Engineering*. 2019; 66(4). <https://doi.org/10.24425/ame.2019.131419>

19. Liu X., Hu Y., Chen D., & Wang L. Safety control of hydraulic self-climbing formwork in south tower construction of Taizhou Bridge. *Procedia Engineering*. 2012; 45. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.08.152>

ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ

Крупенин Ф.Р. Формирование цели научного исследования. Анализ конструкций и параметров перемещения рассматриваемого грузоподъемного оборудования. Анализ состояния вопроса. Обзор предшествующих исследований. Получение данных для анализа и подготовка материалов для статьи.

Куракина Е.В. Руководство темой исследования. Формирование целей и задач исследования. Разработка научной концепции.

COAUTHORS' CONTRIBUTION

Krupenin F.R. Statement of the purpose of scientific research. Analysis of the structures and movement parameters of the considered lifting equipment. Analysis of the status of the issue. A review of previous research. Obtaining data for analysis and preparing materials for the article.

Kurakina E.V. Management of the research topic. Statement of research purposes and tasks. Development of a scientific concept.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Крупенин Федор Романович – аспирант кафедры наземных транспортно-технологических машин Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (СПбГАСУ) (190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4), **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0001-6785-1366>, **SPIN-код:** 4257-0412, e-mail: theoharicot@yandex.ru

Куракина Елена Владимировна – д-р техн. наук, доц., заведующая кафедрой наземных транспортно-технологических машин Санкт-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета (СПбГАСУ) (190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0228-9111>, **SPIN-код:** 1437-4573, e-mail: elvi_86@mail.ru

INFORMATION ABOUT AUTHORS

Fedor R. Krupenin – Postgraduate of the Land Transport and Technological Machines Department, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya St., 4190005), **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0001-6785-1366>, **SPIN-cod:** 4257-0412, e-mail: theoharicot@yandex.ru

Elena V. Kurakina – Associate Professor, Dr of Science, Head of the Land Transport and Technological Machines Department, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering (St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya St., 4190005), **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0228-9111>, **SPIN-код:** 1437-4573, e-mail: elvi_86@mail.ru