



МРНТИ 55.51

Научная статья

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2026-154-1-229-248>

Перспективы развития конструкции выносных опор железнодорожных кранов

Г.Б. Хайытбаева^{1*} , А.Ж.Мурзагалиев² , Б.Т.Сазамбаева¹ ,
Г.М.Ордабаева² , Ж.З.Косыбаев¹ 

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан.

²Актюбинский региональный университет имени К.Жубанова, Актюбе, Казахстан.

*E mail: *gloriyahaitbae@gmail.com, ²amurzagaliyev@zhubanov.edu.kz,
¹a.sazambaeva_t@mail.ru, ²gulsairaordabaeva@gmail.com, ¹kossybayev_zhz@enu.kz*

Аннотация. В статье рассмотрена проблема обеспечения устойчивости и эксплуатационной безопасности железнодорожных восстановительных кранов. Показано, что одним из ключевых узлов, определяющих устойчивость крана при выполнении погрузочно-транспортных операций, являются выносные опоры, воспринимающие основную часть силовых нагрузок и обеспечивающие перераспределения на опорную поверхность. Целью исследования является анализ конструктивных решений выносных опор железнодорожных грузоподъемных кранов и обоснование перспективных направлений их конструктивного совершенствования. На основе патентного анализа существующих технических решений разработана классификация современных конструкций выносных опор по следующим группам: системы, предназначенные для снижения удельного давления на грунт; конструкции, различающиеся по конфигурации и компоновке; решения, предусматривающие использование современных материалов в рабочих элементах; системы, оснащенные устройствами контроля устойчивости крана в процессе работы. Проведен сравнительный анализ существующих методик расчета устойчивости железнодорожных кранов с выносными опорами. Показана перспектива повышения эффективности опорных элементов за счет оптимизации их конфигурации и применения современных композитных материалов

Ключевые слова: железнодорожные краны, выносные опоры, устойчивость, аутригер, композитные материалы, морфологическая классификация, опорные реакции, расчётная схема.

Введение

Современные железнодорожные краны являются базовыми составляющими процесса организации строительных и монтажных работ на железнодорожных путях при штатных, так и при нештатных ситуациях. Особую группу составляют восстановительные краны различной грузоподъемности, предназначенные для подъема и перемещения тяжелых грузов в условиях ограниченного пространства и сложных природно-климатических факторов.

Безопасная эксплуатация кранов во многом определяется их устойчивостью при различных режимах работы, включая подъем и опускание груза, изменение положения стрелы, а также воздействие внешних нагрузок. Нарушение устойчивости может привести к аварийным ситуациям и значительным материальным потерям. В связи с этим обеспечение устойчивости является одним из ключевых требований надёжной эксплуатации грузоподъемных машин.

Организационно-технические мероприятия и дополнительные устройства, направленные на обеспечение устойчивости кранов базовых исполнений, регламентируются требованиями, положениями и рекомендациями отраслевых нормативных документов[1].

Однако в реальных условиях эксплуатации нередко возникают нештатные ситуации, требующие разработки дополнительных технических решений, направленных на совершенствование узлов механизмов кранов с целью обеспечения надёжности процессов подъёма и опускания груза.

Одним из основных конструктивных элементов, обеспечивающих устойчивость железнодорожных стреловых кранов, являются выносные опоры - аутригеры, которые в процессе работы воспринимают значительную часть нагрузок, передаваемых на опорную систему крана. Выносные опоры железнодорожных кранов представляют собой механические или гидромеханические устройства, предназначенные для увеличения площади опирания крана и перераспределения нагрузок при выполнении подъёмных операций.

В классической конструкции восстановительных кранов, используется пирамидальная схема опоры, которая воспринимает нагрузку через шток гидроцилиндра и передает нагрузку на грунт через опорные плиты и шпалы. Такая конструкция должна обеспечивать снижение риска опрокидывания и повышение устойчивости крана при работе на рельсовом пути или вблизи него[2].

Традиционные конструкции опорных плит, изготавливаются из стали и отличаются значительной массой. Следует отметить, что применяемые в практике аутригеры железнодорожных кранов требуют значительных временных затрат и физических усилий при их установке. Так, например, на железнодорожном кране ЕДК-2000 для приведения выносной опоры в рабочее положение требуется участие нескольких человек.

Кроме того, при работе на неровном основании или на деформированных шпалах распределение нагрузок между опорами происходит неравномерно. Это приводит к перегрузке отдельных опорных элементов и повышает риск опрокидывания крана. В технической литературе данный вопрос рассматривается достаточно подробно, что связано прежде всего с особенностями условий работы аутригеров[3]. В работе [4] показана необходимость учета реологических свойств грунта с использованием нелинейно-деформируемой модели вместо традиционно применяемой упруго-линейной

модели взаимодействия опорных элементов с грунтом.

В работах[5,6] указывается, что специфической особенностью выносных опор мобильных кранов является их ограниченная адаптивность к различным грунтовым условиям под опорными устройствами, повышенная чувствительность к неравномерности опорных реакций, значительные затраты времени на установочные операции, а также вероятности снижения устойчивости крана при динамических нагрузках и изменениях положения стрелы. При существующих конструкциях выносных опор возможно снижение разгрузки выносных опор до 30-50%. Однако данное мероприятие требует значительного усложнения конструкции, вызванного необходимостью увеличения опорной площади за счет удаления опоры от радиуса поворота.

В работе[7] отмечается, что одним из основных недостатков обеспечения устойчивости железнодорожных кранов является трудности обеспечения опорной поверхности, приводящие к использованию не всех выносных опор, а также ограничения в мобильности их установки. В этих случаях необходимо совершенствование эксплуатационных характеристик отдельных узлов выносных опор.

В результате анализа существующих конструкций выносных опор приведена сравнительная оценка эффективности их использования по сравнению с базовыми вариантами: коэффициент удельных приведенных затрат при увеличении числа перестановок опор в течение часа снижается на 6,6%. Одновременно установлено, что при увеличении числа перестановок опор снижение этого показателя становится более заметным. Последнее указывает на необходимость поиска новых технических решений по совершенствованию конструкции выносных опор.

Краткий анализ проведенных по исследованию выносных опор железнодорожных кранов приводят к необходимости системного анализа исследуемого вопроса.

Методология

Одним из эффективных инструментов выявления перспективных направлений развития конструкций грузоподъемных машин является анализ патентной информации. Патентные источники отражают наиболее актуальные инженерные решения, направленные на повышение эксплуатационных характеристик оборудования, включая устойчивость, надежность и технологичность конструкций.

В рамках настоящего исследования проведен анализ патентных разработок, посвященных совершенствованию опорных устройств стреловых и мобильных кранов. Поиск патентной информации осуществлялся в международных базах данных Google Patents, Espacenet, WIPO, Роспатент период с 1994-2025 гг. В результате изучения материалов установлено, что значительная часть технических решений направлена на повышение устойчивости кранов за счет совершенствования конструкции выносных опор и их взаимодействия с опорной поверхностью.

В результате систематизаций рассмотренных патентных решений выделены следующие основные направления развития конструкций опорных устройств грузоподъемных машин.

Одним из наиболее распространенных направлений является разработка конструкций опорных башмаков и стабилизирующих накладок, обеспечивающих более равномерное распределение нагрузки на опорную поверхность. В ряде патентов предлагаются

стабилизирующие накладки различной формы (квадратной, прямоугольной или круглой), устанавливаемые в нижней части опорного элемента [8–10]. Основная цель подобных решений заключается в увеличении площади контакта опоры с грунтом и снижении удельного давления на основание. Кроме того, применение специальных конструктивных элементов позволяет уменьшить вероятность просадки опор и повысить устойчивость крана при работе на слабых грунтах.

В работе [9] предложена конструкция накладки с развитой фрикционной поверхностью, сформированной системой выступов и углублений. Такая конфигурация обеспечивает повышение коэффициента сцепления опорного элемента с опорной поверхностью и уменьшает вероятность смещение крана при действии горизонтальных нагрузок.

Отдельный интерес представляет модульная конструкция стабилизирующей накладки, предложенная в патенте [10]. Данная конструкция выполнена по принципу сборных элементов, устанавливаемых друг в друга. Такое решение позволяет значительно сократить время монтажа опорных элементов и повысить удобство транспортировки оборудования. Кроме того, криволинейная форма опорной поверхности способствует более равномерному распределению нагрузок не только непосредственно под опорой, но и на прилегающих участках грунта.

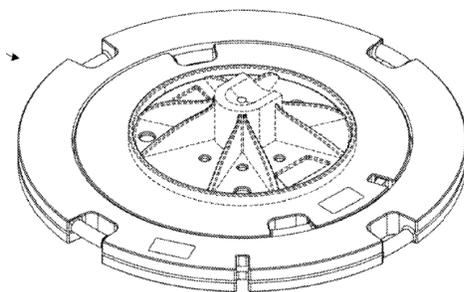


Рисунок.1. Эргономичная стабилизирующая накладка

Второе направление развития конструкций выносных опор связано с изменением конфигурации и геометрии опорных плит.

Так, в патенте [11] предложена конструкция опорной плиты с двухслойной структурой, позволяющей повысить жесткость элемента при относительно небольшой массе конструкции при восприятии значительных нагрузок.

В ряде технических решений рассматриваются варианты увеличения площади опоры за счет применения складывающихся элементов. Например, в патенте [12] опорная плита снабжена двумя шарнирно закрепленными крыльями, которые могут поворачиваться на угол до 180. В рабочем положении данные элементы образуют дополнительную опорную поверхность, что позволяет увеличить площадь контакта с грунтом и снизить удельное давление на основание. Аналогичный подход реализован в патенте [13] где увеличение площади опорной поверхности достигается за счет использования складывающихся секций опорного элемента. Подобные решения направлены на обеспечение компактности конструкции в транспортном положении при одновременном увеличении площади опоры в рабочем режиме.

Интересное техническое решение представлено в патенте [14], где опорный элемент оснащен съемным сферическим основанием. Такая конструкция обеспечивает более равномерное распределение нагрузок на опорную поверхность и позволяет компенсировать неровности основания.

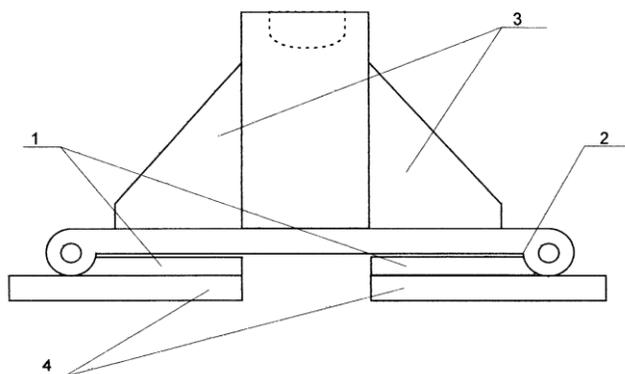


Рисунок 2. Опорная плита

Третьим направлением совершенствования выносных опор является использование новых конструкционных материалов.

В патенте [15] предложена конструкция опорной накладки, выполненной в виде сборной стальной полый структуры, обладающей высокой несущей способностью при относительно небольшой массе. Использование подобных элементов позволяет снизить трудоемкость транспортировки и установки опорных устройств, что особенно важно при проведении аварийно-восстановительных работ на железнодорожном транспорте.

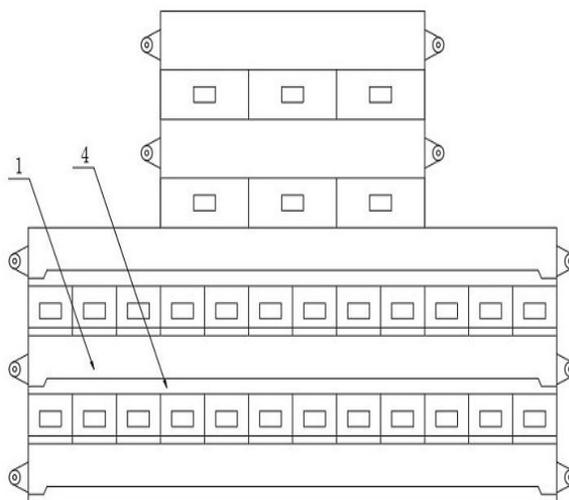


Рисунок 3. Высокопрочная стальная накладка

В последние годы значительное внимание уделяется применению композитных материалов. В частности, в патенте [16] рассматривается возможность изготовления опорных элементов из композитных материалов на основе углеродного волокна и эпоксидных связующих. Использование таких материалов позволяет уменьшить массу

конструкции при сохранении достаточного уровня прочностных характеристик.

Результаты исследований [17,18] показывают, что элементы конструкций грузоподъемных машин, выполненные из угле- и стекловолоконных материалов, могут иметь механические характеристики, сопоставимые со стальными конструкциями, при существенно меньшей массе.

В результате исследования [17], получено, что конструктивные элементы крана, изготовленные из углеродного и стекловолокна имеют механические характеристики на уровне образцов из стали, но меньше их на 20%, что открывает новые возможности использования инновационных материалов в конструкциях грузоподъемных кранов. Подобный вывод подтверждается в исследовании [18] где кран спроектирован из угле и стекловолокна, имеет характеристики, сопоставимые с кранами, изготовленными из стали.

Производственные испытания образцов выносной опоры (пирамидальная подставка в сборе), изготовленных из композитного материала - нейлона МС (cast nylon), по сравнению со стальными или алюминиевыми образцами, показали результаты, что быстроразъемные выносные опоры имеют небольшой удельный вес (только 1,138 г/см³, что на 1/7 состоят из стали и на 2/5 из алюминиевого сплава), не гигроскопичен, легко монтируется и транспортируется обслуживающим персоналом из двух человек [19].

В нормативных документах [20] и работе [21] приводятся материалы к механическим характеристикам композитных материалов (углепластиков), которые показывают перспективность их практического использования в машиностроении для изготовления рабочих узлов и элементов опорных механизмов железнодорожных кранов.

Практический интерес представляет также применение полимерных материалов. Так, результаты экспериментальных исследований показали, что элементы выносных опор, изготовленные из литого нейлона (МС nylon), обладают малой плотностью, высокой износостойкостью и достаточной прочностью. Это позволяет значительно облегчить монтаж и транспортировку опорных устройств [19].

Четвертым направлением развития является разработка устройств контроля нагрузки на опоры.

В практике эксплуатации железнодорожных кранов наблюдение за положением машины и состоянием опор часто осуществляется с помощью простейших устройств, например жидкостных уровней. Однако такие средства не позволяют объективно оценивать распределение нагрузок между опорами. В связи с этим в ряде патентных решений предлагается использовать датчики давления и системы мониторинга нагрузки. Например, в патенте [22] предложена конструкция опорной плиты, оснащенной датчиком давления, позволяющим измерять нагрузку, передаваемую на грунт. При превышении допустимых значений система может сигнализировать оператору о возникновении опасной ситуации.

В работах [23,24] предложены измерительные устройства, основанные на использовании деформируемых элементов с датчиками усилий. Подобные системы позволяют регистрировать нагрузку на каждую опору и могут быть интегрированы в автоматизированные системы управления краном.

Проведенный анализ патентных источников позволяет сделать вывод о том, что основные направления совершенствования конструкций выносных опор железнодорожных кранов связаны с решением следующих инженерных задач:

- увеличение площади опорной поверхности и снижение удельного давления на грунт;

- совершенствование геометрии опорных элементов для более равномерного распределения нагрузок;

- применение новых материалов с целью снижения массы конструкции;

- внедрение систем контроля нагрузок и устойчивости крана.

Полученные результаты послужили основой для последующего морфологического анализа конструкций выносных опор и разработки предложений по совершенствованию их конструктивных схем[25].

Сущность данного метода заключается в представлении исследуемого объекта в виде совокупности функциональных элементов, каждый из которых может иметь несколько альтернативных вариантов реализации. Формирование морфологической таблицы позволяет определить возможные комбинации конструктивных решений и выявить перспективные направления развития технической системы.

В рамках настоящего исследования конструкция выносной опоры железнодорожного крана была рассмотрена как система, включающая несколько основных функциональных элементов:

- конструктивная схема опоры;

- тип опорного основания;

- способ соединения элементов;

- технология изготовления;

- материал конструкции;

-характер распределения давления на грунт;

- способ контроля устойчивости.

Таблица 1. Морфологическая классификация системы выносных опор железнодорожного крана

Функциональный элемент	Варианты конструктивных решений				
Тип конструкции выносной опоры (А)	А ₁ - стационарные	А ₂ -съёмные опоры	А ₃ - выдвигные опоры	А ₄ - поворотные опоры	А ₅ – комбинированные опоры
Конструкция опорного основания (Б)	Б ₁ -плоская опорная плита	Б ₂ -круглая опора	Б ₃ - сферическое основание	Б ₄ - складная опорная плита	Б ₅ - пирамидальная
Способ крепления элементов (В)	В ₁ - болтовое соединение	В ₂ -втулочное соединение	В ₃ - шарнирное соединение		
Технология изготовления (Г)	Г ₁ -литье	Г ₂ -сварная конструкция	Г ₃ - механическая обработка	Г ₄ -комбинированная технология	

Материал конструкции (Д)	Д ₁ -конструкционная сталь	Д ₂ -алюминиевые сплавы	Д ₃ -полимерные материалы	Д ₄ -композитные материалы	Д ₅ -комбинированные материалы
Характер распределения давления на грунт (Е)	Е ₁ - плоское распределение давления	Е ₂ -распределение через демпфрующие элементы	Е ₃ -распределение через модульные опорные элементы		
Способ контроля устойчивости (Ж)	Ж ₁ -визуальный контроль	Ж ₂ автоматизированный контроль с использованием датчиков			

Сформированная морфологическая таблица отражает основные конструктивные признаки выносных опор и позволяет рассмотреть широкий спектр возможных комбинаций технических решений.

На основе анализа патентных решений и эксплуатационных требований к железнодорожным кранам была сформирована одна из возможных комбинаций конструктивных признаков, характеризующая перспективную конструкцию выносной опоры Таблица 2.

Таблица 2.- Морфологическая комбинация конструкции выносной опоры

Ж ₁	Е ₁	Д ₅	Г ₁	В ₂	Б ₅	Б ₃
----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

где: Ж₁ – визуальный контроль, Е₁ – плоское распределение давления, Д₅ – Комбинированные материалы, Г₁- технология литья, В₂-втулочное соединение, Б₅ – пирамидальная подставка, А₃ – выдвижная конструкция опоры

Полученная комбинация характеризует конструкцию выносной опоры, включающую выдвижную опорную балку, опорное основание пирамидальной формы и элементы, выполненные из комбинированных материалов. Применение подобной конструктивной схемы позволяет увеличить площади опорной поверхности, улучшить распределение нагрузок на грунт и повысить устойчивость крана в процессе работы.

Использование морфологического анализа позволяет систематизировать существующие конструктивные решения и определить возможные комбинации параметров выносных опор, обеспечивающие повышение устойчивости железнодорожных

кранов в эксплуатационных условиях.

На основании анализа функциональных признаков конструкций выносных опор железнодорожных кранов можно сделать вывод, что основными инженерными решениями, направленными на улучшение их эксплуатационных характеристик, являются мероприятия, обеспечивающие снижение удельного давления опор на грунт. Это достигается за счет увеличения площади опорных элементов и улучшения сцепных свойств их контактной поверхности, а также за счет совершенствования вспомогательных опорных устройств.

Перспективным направлением повышения эксплуатационных свойств железнодорожных кранов является использование в элементах конструкции выносных опор современных композитных материалов, таких как углеволокно, стекловолокно и углепластики. Применение опорных устройств и стабилизаторов, изготовленных из данных материалов с учетом свойств грунтового основания, позволяет снизить массу конструкции и повысить её прочностные и эксплуатационные характеристики.

Рассмотрение известных конструкций выносных опор позволяет определить их основные геометрические и силовые параметры, оценить эффективность различных схем раскрепления и выявить потенциальные направления для повышения устойчивости крана. Кроме того, анализ существующих решений создаёт основу для последующей разработки предложений по оптимизации опорного оборудования и уточнения расчётных моделей, применяемых при оценке устойчивости железнодорожных кранов.

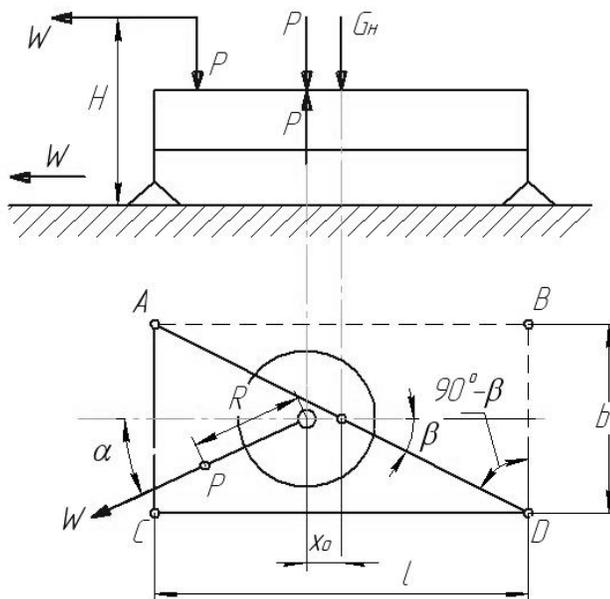


Рисунок 4. Схема расчета опорных нагрузок

где, G_n - вес не поворотной части крана; P - сила действующая на поворотную часть; R - радиус точка приложения силы относительно оси вращения; α - угол отклонения стрелы от оси к горизонту; β - угол отклонения стрелы от оси; x_0 - расстояния от центра симметрии; W - ветровые и инерционные составляющие силы; H - высота от основания крана.

При расчете устойчивости железнодорожных кранов применяются общепринятые методики. Одной из таких методик является расчет устойчивости по методу [26], в соответствии с которым условие устойчивости рассматривается на основе нормативных

требований с использованием методов кинестатики с учетом дополнительных усилий от динамических составляющих. В данном случае расчёт выполняется по схеме четырехопорной жесткой системы с учетом упругих свойств элементов конструкции, однако без учёта реологических свойств грунтового основания.

Общая структура методики расчета устойчивости стреловых кранов различных модификаций при работе как с выносными опорами и без них рассмотрена в отраслевых литературных источниках[27–29]. Следует отметить, что основные мероприятия по обеспечению безопасной эксплуатации железнодорожных кранов изложены в нормативных документах, отраслевых положения и инструкциях заводов –изготовителей, а также в классических методиках расчета. Основы теоретических исследований базируются на учёте допускаемых силовых факторов, включающих статические и возможные динамические нагрузки, а также характеристика опорных площадок и условий эксплуатации. Ниже приведена общепринятая расчетная схема (Рис.4) устойчивости стреловых кранов, при работе четырех колесах или на выносных опорах[26].

Причем, значения реакции в точке, который рассматривается определяющая условия устойчивости, рассчитывается по выражению[26]:

$$\begin{aligned} A &= \frac{G_H}{4} + P \frac{l/2 + x_0}{2l} + M \frac{\cos \alpha}{2l} - M \frac{\sin \alpha}{2b}; \\ B &= \frac{G_H}{4} + P \frac{l/2 - x_0}{2l} - M \frac{\cos \alpha}{2l} - M \frac{\sin \alpha}{2b}; \\ C &= \frac{G_H}{4} + P \frac{l/2 + x_0}{2l} + M \frac{\cos \alpha}{2l} + M \frac{\sin \alpha}{2b}; \\ D &= \frac{G_H}{4} + P \frac{l/2 - x_0}{2l} - M \frac{\cos \alpha}{2l} + M \frac{\sin \alpha}{2b}. \end{aligned} \quad (1)$$

$$C_{max} = \frac{G_H}{4} + P \frac{l/2 + x_0}{2l} + M \frac{b}{2l\sqrt{l^2 + b^2}} + M_2 \frac{l}{2b\sqrt{l^2 + b^2}} \quad (2)$$

В основу положена расчетная схема с учетом рекомендации [30]. Сначала выполняется расчет нагрузок на выносные опоры в виде реакции опор под каждой выносной опорой. Затем площадь опорной поверхности мата выносной опоры, контактирующей с грунтом, используется для определения давления, передаваемого этой выносной опорой на основание. Величина реакций и давление под выносными опорами зависят от трех факторов γ , θ и β , и определяются согласно уравнениям (3), (4) и (5).

$$\gamma = \frac{W_s + W_c}{4w_m l_m} \quad (3)$$

$$\phi = \frac{W_s d_s \sin \theta_s + W_c d_s \sin \theta_s}{B_c w_m l_m} \quad (4)$$

$$\beta = \frac{W_s d_s \cos \theta_s + W_c d_s \cos \theta_s + (W_s + W_c) x_0}{L_c w_m l_m} \quad (5)$$

где W_c = вес несущей конструкции; W_s - вес пролетного строения; d_s = расстояние по горизонтали от оси вращения несущей конструкции до оси; d_s - вращения крана (положительное в переднем направлении); x_0 - расстояние по горизонтали от оси вращения

пролетного строения до оси вращения крана; L_c -расстояние между выносными опорами в продольном направлении (от центра до центра); B_c -расстояние между выносными опорами от центра; θ_s - угол между центром тяжести надстройки и осью x ; θ_c - угол наклона несущего зубчатого колеса; B_c - ширина мата; l_m - длина мата.

Нагрузка на каждую выносную опору с учетом использования опорной плиты выполняется по уравнениям (6), (7), (8) и (9) [30].

$$GBP_{\text{(прав.передн)}} = \gamma + \frac{1}{2}(\phi - \beta)(6)$$

$$GBP_{\text{(лев.передн)}} = \gamma - \frac{1}{2}(\phi + \beta)(7)$$

$$GBP_{\text{(прав.задн)}} = \gamma + \frac{1}{2}(\phi + \beta)(8)$$

$$GBP_{\text{(лев.задн)}} = \gamma - \frac{1}{2}(\phi - \beta)(9)$$

где, GBP- опорное давление на грунт

Преимущество этого метода заключается в том, что он позволяет определить значения углов α , соответствующих максимальным значениям опорных реакций, что является критически важным для условий эксплуатации. Для тяжелых кранов, используемых в аварийно-восстановительных работах железнодорожных кранов, рекомендуется увеличить количество опорных точек, что должно повысить их устойчивость. Однако, на практике, например, в железнодорожных кранах ЕДК-2000, этот вопрос решается увеличением расстояния между опорными площадками.

Причинами потери устойчивости железнодорожных кранов является совокупность случайных трудно прогнозируемых факторов, включая ненормативные режимы нагружения, конструктивные и технологические особенности опорных устройств, подкрановых площадок. К числу подобных факторов относятся динамические нагрузки, возникающие при работе крана в режимах подъема и опускания груза, инерционные воздействия грузов, а также ветровые нагрузки. Оценка возможной потери устойчивости кранов выполняется на основе принятых расчетных схем по критериям опрокидывания в сторону груза или в сторону противовеса, с учетом пространственного положения стрелы. Для решения данной задачи применяются различные математические модели, основанные на составлении уравнения моментов относительно ребра опрокидывания, которое в общем виде записывается следующим образом [26]:

$$M_{кр} = \sum_{i=1}^n M_i(F_i) \quad (10)$$

где, $M_{кр}$ - момент от эксплуатационного (собственный вес крана, противовеса) веса крана;

$\sum M_i$ - сумма моментов от всех сил F_i , действующих на кран.

На основании рассмотренной методики ниже приведен расчет устойчивости железнодорожного крана ЕДК-2000 для оценки применимости принятой методики с учетом особенности использования железнодорожных кранов в условиях эксплуатации.

Результаты и обсуждение

Для анализа устойчивости рассматриваемого крана ЕДК-2000 в работе выполнен расчет по данной методике, основанный на использовании основных параметров крана и его максимальной грузоподъемности, приведенных в техническом паспорте. Исходные данные крана для расчета представлены в таблице 3.

Таблица 3. Конфигурация железнодорожного крана (ЕДК-2000)

Описание	параметры
Масса крана	260 т
Масса груза	100 т
Вылет стрелы	19 м
Высота подъема крюка	17 м
Расстояние между передними и задними опорами	8500 м
Расстояние между левыми и правыми опорами	7500 м
Координаты центра тяжести крана	15,22 м
Размер опорной плиты	2,5× 3,2 м
Количество опор	4
Допустимое давление грунта	200 кПа

В результате проведенных расчетов получены следующие значения реакций выносных опор: R1- передняя левая опора 2204 кН; R2-передняя правая опора -2204 кН; R3-задняя правая опора-438 кН; R4-задняя левая опора-438 кН. Давление на грунт определено при следующих параметрах: площадь опорной плиты $A= 8 \text{ м}^2$, максимальная реакция $R_{\max}=2204 \text{ кН}$. Удельное давление $p=276 \text{ кПа}$, при допустимом давлении $p=200 \text{ кПа}$.

Таблица 4. Реакции опор

опоры	реакции опор
R1- передняя левая опора	2204 кН
R2-передняя правая опора	2204 кН
R3-задняя правая опора	-438 кН
R4-задняя левая опора	-438 кН.

Таким образом, в предлагаемой работе в качестве объекта исследования устойчивости железнодорожных кранов выполнен краткий анализ исследования по устойчивости железнодорожных кранов с выносными опорами.

Анализ предварительных расчетов устойчивости железнодорожных кранов показал, что реакции выносных опор (таблица 4) для базового варианта железнодорожного крана ЕДК-2000 имеют значения, превышающие допустимое давление на грунт.

Из полученных данных можно заключить, что для принятых условий характерно неравномерное распределение нагрузок по выносным опорам. Максимальное значение реакций опор наблюдается на передних опорах и составляет $R_{\max}=2204$ кН при нагрузке $Gg=981$ кН.

При данных условиях существует вероятность отрыва задних опор, что может привести к опрокидыванию крана в сторону подъема груза. При площади опорной плиты $A=8$ м² удельное давление составляет, $p=276$ кПа при допустимом значении $p=200$ кПа.

Полученные результаты расчетов свидетельствуют о превышении нормативного значения удельного давления на грунт для крана ЕДК-2000, что может стать причиной нарушения устойчивости крана в условиях эксплуатации. В соответствии с нормативными данными допускается превышение удельного давления для кранов до 800 кПа.

Однако снижение значений сил реакции задних правой и левой опор свидетельствует о вероятности нарушения устойчивости крана при появлении дополнительных динамических нагрузок. К таким нагрузкам относятся инерционные воздействия при работе, ветровые нагрузки, а также влияние реологических свойств грунта на реакцию опор.

В расчетах выносных опор кранов влияние деформируемости основания обычно учитывается через упругопластическую модель грунта Винклера, согласно которой реакция опоры определяется не только статическим состоянием крана, но и осадкой опоры [4]. Последняя оказывает влияние на устойчивость крана, вследствие дополнительного изменения угла опорной плоскости выносных опор, что согласуется с данными исследований [4,30].

Приведенные данные показывают, что учет нелинейной модели основания приводит к изменению угла наклона опорной системы и подтверждает необходимость учета данного фактора при разработке инженерных мероприятий.

Исходя из полученных результатов исследования устойчивости крана, необходимо разработать расчетную динамическую модель железнодорожных восстановительных кранов с учетом структуры грунта и влияния динамических нагрузок на их устойчивость.

В целом рассмотренные исследования отражают значительный прогресс в области моделирования и оптимизации, однако недостаточно внимания уделяют практическим ограничениям взаимодействию опорных систем с грунтом, динамическим воздействиям и специфике эксплуатации железнодорожных кранов. Указанные пробелы определяют необходимость дальнейших исследований, ориентированных на реальные условия эксплуатации и конструктивные особенности специализированных опорных систем.

Заключение

В результате исследования, одним из решающих конструктивных элементов, определяющих устойчивость и эксплуатационную надёжность железнодорожных кранов, являются выносные опоры, которые воспринимают основную часть нагрузки в рабочем режиме и формируют опорный контур крана.

Перспективные направления совершенствования конструкций современных выносных опор железнодорожных кранов могут быть систематизированы по следующим четырем основным группам:

- разработка конструкций опорных устройств для снижения удельного давления на

грунт за счет увеличения площади опорных элементов и улучшения сцепных свойств контактной поверхности;

совершенствование геометрии и конструктивной конфигурации опорных элементов, обеспечивающих более эффективное распределение нагрузок;

- использование современных композитных материалов при изготовлении элементов выносных опор, позволяющих снизить массу конструкции при сохранении необходимой прочности и жёсткости;

- разработка диагностических устройств для контроля нагрузки на опоры и мониторинга устойчивости крана в процессе эксплуатации.

На основании анализа ключевых технических параметров и эксплуатационных свойств опорных систем разработана морфологическая матрица, позволяющая определить возможные направления их дальнейшей оптимизации опорных устройств.

Указанные обстоятельства определяют необходимость дальнейших исследований, направленных на разработку более совершенных конструктивных решений выносных опор, а также на уточнение расчётных моделей устойчивости железнодорожных кранов.

Установлено, что перспективным направлением дальнейших исследований является разработка расчётной динамической модели устойчивости железнодорожных кранов, учитывающей геометрию опорного контура, характеристики грунтового основания и динамические нагрузки, возникающие при выполнении грузоподъёмных операций.

Вклад авторов

Хайытбаева Г. Б. - постановка научной задачи, сбор и анализ теоретических данных, написание основного текста статьи, координировала работу коллектива авторов.

Мурзагалиев А.Ж. — редактирование текста статьи, участие в обсуждении результатов и формулировании инженерных рекомендаций.

Сазамбаева Б. Т.- анализ и интерпретация результатов работы, написание текста и критический пересмотр его содержания.

Ордабаева Г.М. - подготовила таблицы, приведенные в статье, проанализировала результаты.

Косыбаев Ж.З.- анализ и интерпретация результатов работы.

Список литературы

1. Правила предоставления кранов на железнодорожном ходу, техники и других технических средств восстановительных поездов акционерного общества «Национальная компания «Қазақстан темір жолы». Нур-султан, 2019. - 20 с.- Нормативный документ.
2. Хайытбаева Г.Б., Сазамбаева Б.Т., Болатова А.Б. Обзор конструкций и дефектов узлов железнодорожных кранов. Вестник ЕНУ им. Гумилева. Серия: Технические науки и технологии, 2025. - №1 (150). – С.162–72. Научная статья на казахском языке. DOI: 10.32523/2616-7263-2025-150-1-162-172
3. Томилин И.П., Новиков Г.И. Краны типа ЕДК. Устройство и эксплуатация. Москва: М: УМК МПС России; 2000. -157 с. – учебное пособие
4. Ватулин Я.С., Потахов Д.А. Моделирование взаимодействия элементов опорного контура железнодорожного грузоподъемного крана с грунтовой опорной

- поверхностью. Известия ПГУПС. 2019. -№1(16) .- С.59-67. Научная статья. DOI:<https://doi.org/10.20295/1815-588X-2019-1-59-67>
5. Андриенко Н.Н. Стреловые самоходные краны. Одесса: Астропринт; 2001. - 706 с. книга
 6. Jang H, Lee Y, Lee H, Cha Y, Choi S, Park J. (2024). Preventing Overturning of Mobile Cranes Using an Electrical Resistivity Measurement System. Applied Sciences (Switzerland). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 14 (21), p.1-19. Научная статья на англ.языке. <https://doi.org/10.3390/app14219623>
 7. Пенчук В.А, Водолажченко А.Г., Горулёв А.Ю. Классификация и эффективность применения выносных опор наземных транспортно-технологических машин. Современное промышленное и гражданское строительство. 2019.№4(15). – С.179–89. – научная статья
 8. Koberg Richard. Stabilizer pad and handle apparatus. pat. US 2014/0319315 A1/ applicant Guthrie Center. – Publ.30.10.2014. (патент на англ. языке)
 9. Jefferson Steiner. Outrigger stabilizer pad having a frictional surface. pat. US 2019/0210574 A1. / applicant BigFoot Construction Equipment,Inc. - publ. 11.07.2019. (патент на англ. языке)
 10. Paul S. Perkins, Downers Grove. Stabilizer pad and assembly. pat. US 012209378B2 / applicant Raptor Tech, Inc. - publ. 28.01.2025. (патент на англ. языке)
 11. Лян Яхуа, Ян Юнхуа, Фан Бо, Лу Юнчжи, Дай Цзинсюань. Опорная плита. Пат. CN 208308284 U. 01.01.2019. (патент на китайском языке)
 12. Коробейников М.С, Жигайло В.В, Смирнов В.И. Увеличение площади опорной поверхности выносных опор. Пат. RU 215250, МПК В66С 23/78. - 06.12.2022.
 13. Ли Аньцян, У Горуй, Чжан Вэй. Опорная плита для крана. Пат. CN 208308284 U. 01.01.2019. (патент на китайском языке)
 14. Фант Чжаомин Ли Биюй. Крановые опоры и подъемные краны. CN 203558721U. 23.04.2014. (патент на китайском языке)
 15. Вэй Чуньсин, Лю Цюань, Чжан Цзяньцзюнь, Чжан Лян, Ли Биджу. Опорная плита и подъемное оборудование. Пат. CN 102862914 А. 09.01.2013. (патент на китайском языке)
 16. Ша Чжицян, Ся Чжунцянь, Шэнь Син, Хо Яньхун, Ли Цяньхай, У Конгган Хуань Цзичунь, et al. Высокопрочная стальная подложка. Пат. CN 112456355А. 09.03.2021. (патент на китайском языке)
 17. Tulekov A, Togizbayeva B, Kenesbek I, Kenesbek A, Zabiyeveva A.(2023). The Use of Composite Materials in the Production of Tower Cranes. Acta Polytechnica Hungarica. 20(9). 277-291. Научная статья на англ.языке. DOI: 10.12700/APH.20.9.2023.9.16
 18. Solazzi L, Vaccari M. (2022). Feasibility study of a jib crane made of composite materials considering deterministic and probabilistic approach. Composites Part C: Open Access. 9(12). 1-16. Научная статья на англ.языке. DOI: 10.1016/j.jcomsc.2022.100323
 19. Сюй Цзюнь Лю Чжэньин. (2022) Исследование опорных элементов для спасательного железнодорожного крана. Machine Chine. №29.P.95–98. - Научная статья на китайском языке.
 20. Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. Волокна углеродные. Общие технические требования и методы испытаний. Москва,

- Стандартинформ. 2020. – 15 с. - Нормативный документ
21. Колобков А. Развитие технологий получения углеродных волокон (обзор). Композиционные материалы. Труды ВИАМ № 8 (114). 2022. С.123-131. – научная статья. DOI:<https://doi.org/10.18577/2307-6046-2022-0-8-123-131>
 22. Юй Дэхай, Ян Ган, Ли Сянган, Ван Минь Шунь. Сигнализатор опрокидывания для выносных опор и строительной техники. Пат. CN 103359080 А. 23.10.2013. (патент на китайском языке)
 23. Reinhold Ost, Klaus Haerle, Stefan Amendt. Measurement system for determining support force. pat.US 010308487B2; - publ. 04.06.2019. (патент на англ. языке)
 24. John F. Benton, Matthew T. Oswald, Stephen J.Schoonmaker. Outrigger pad monitoring system. pat.US 20140116975 A1. - publ. 01.05.2014. (патент на англ. языке)
 25. Кадыров А.С, Кадырова И.А. Основы научных исследований: Монография. Караганда: КарГТУ; 2015. – 278с. – книга
 26. Вайнсон А.А. Подъемно-транспортные машины. Москва: Машиностроение; 1989. – 536 с. – книга
 27. Шеффлер М, Пайер Г, Курт Ф. Основы расчета и конструирования подъемно-транспортных машин. Москва: Машиностроение; 1980. – 255 с. – книга
 28. А.И. Дукельский. Справочник по кранам. Том 1. Ленинград: Машиностроение; 1971. – 400с. – книга
 29. Shapiro L.K., Shapiro J.P. Cranes and Derricks. McGraw-Hill Companies. Fourth Edition. 2010. p.637. - книга на англ. языке.
 30. Ali GM, Mansoor A, Liu S, Olearczyk J, Bouferguene A, Al-Hussein M. (2021). Simulation of ground bearing pressure profile under hydraulic crane outrigger mats for the verification of 16-point combined loading. Procedia Computer Science 180(3). p.482–491. Научная статья на англ. языке. DOI: 10.1016/j.procs.2021.01.264

**Г.Б. Хайытбаева^{1*}, А.Ж.Мурзагалиев², Б.Т.Сазамбаева¹, Г.М.Ордабаева²
Ж.З.Косыбаев¹**

¹Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана, Қазақстан.

²Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан

Теміржол крандарының шығатын тіректерінің конструкциясын дамыту перспективалары

Аңдатпа. Мақалада теміржол қалпына келтіру крандарының тұрақтылығы мен пайдалану қауіпсіздігін қамтамасыз ету мәселесі қарастырылған. Тиеу-тасымалдау операцияларын орындау кезінде кранның тұрақтылығын анықтайтын негізгі түйіндерінің бірі күш жүктемелерінің негізгі бөлігін қабылдайтын және тірек бетіне қайта бөлуді қамтамасыз ететін шығатын тіректер болып табылады. Зерттеудің мақсаты теміржол жүк көтергіш крандарының шығатын тіректерінің сындарлы шешімдерін талдау және оларды сындарлы жетілдірудің перспективалық бағыттарын негіздеу болып табылады. Қолданыстағы техникалық шешімдерді патенттік талдау негізінде қазіргі заманғы шығатын тіректердің конструкцияларын мынадай топтарға жіктеу ұсынылды: топыраққа үлестік қысымды төмендетуге арналған жүйелер; конфигурациясы мен орналасуы

бойынша ерекшеленетін конструкциялар; жұмыс элементтерінде заманауи материалдарды пайдалануды көздейтін шешімдер; жұмыс процесінде кранның тұрақтылығын бақылау құрылғыларымен жабдықталған жүйелер. Бөлінген жіктеу белгілерінің негізінде қашықтағы тіректерді конструктивті орындаудың мүмкін нұсқаларын синтездеуге, әрі қарайғы зерттеулердің бағытын негіздеуге және зерттеу объектісінің негізгі параметрлерін анықтауға мүмкіндік беретін морфологиялық кесте құрылды. Шығатын тіректері бар теміржол крандарының тұрақтылығын есептеудің қолданыстағы әдістемелеріне салыстырмалы талдау жүргізілді. Олардың конфигурациясын оңтайландыру және заманауи композиттік материалдарды қолдану арқылы тірек элементтерінің тиімділігін арттыру перспективасы көрсетілген.

Түйін сөздер: теміржол крандары, шығатын тіректер, тұрақтылық, аутригер, композитті материалдар, морфологиялық жіктеу, тірек реакциялары, есептеу схемасы.

**G.B. Khayitbayeva¹, A.J. Murzagaliev², B.T. Sazambayeva¹, G.M. Ordabayeva²
Zh. Kossybayev¹**

¹*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.*

²*Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan.*

Prospects for the development of the outrigger designs for railway cranes

Abstract. This article examines the issue of ensuring the stability and operational safety of railway recovery cranes. It demonstrates that one of the key components determining the crane's stability during loading and transport operations is the outriggers, which absorb the majority of the forces and ensure their redistribution to the supporting surface. The aim of the study is to analyze the design solutions for outriggers of railway lifting cranes and to identify promising directions for their design improvement. Based on a patent analysis of existing technical solutions, a classification of modern outrigger designs has been developed into the following groups: systems designed to reduce unit pressure on the ground; designs differing in configuration and layout; solutions involving the use of modern materials in working elements; systems equipped with devices for monitoring crane stability during operation. Based on the identified classification criteria, a morphological table was created, allowing for the synthesis of possible design variants for outriggers, justifying the direction of further research, and determining the main parameters of the research object. A comparative analysis of existing methods for calculating the stability of railway cranes with outriggers has been carried out. The prospect of increasing the efficiency of the support elements by optimizing their configuration and using modern composite materials is shown.

Keywords: railway cranes, outriggers, stability, outrigger, composite materials, morphological classification, support reactions, calculation model.

References

1. Pravila predostavlenija kranov na zheleznodorozhnom hodou, tehniki i drugih tehniceskikh sredstv vosstanovitel'nyh poezdov akcionernogo obshhestva «Nacional'naja kompanija

- «Қазақстан темір жолы». Nur-sultan, 2019. - 20 с.- [in Russian].
2. G.B.Khaiytbayeva, B.T.Sazambayeva, A.B.Bolatova. Overview of designs and defects of railway cranes. Vestnik ENU im. Gumilyova. Technical sciences and technology series, 2025. -№1 (150). – p.162–72. Scientific article [in Kazakh]. DOI: [10.32523/2616-7263-2025-150-1-162-172](https://doi.org/10.32523/2616-7263-2025-150-1-162-172)
 3. Tomilin I.P., Novikov G.I. Krany tipa EDK. Ustrojstvo i jekspluatacija. Moskva: M: UMK MPS Rossia; 2000. -p.157. – textbook [in Russian].
 4. Vatulin Ja.S., Potahov D.A. Modelirovanie vzaimodejstvija jelementov opornogo kontura zheleznodorozhnogo gruzopodiemnogo krana s gruntovoi opornoj poverhnostiu. Izvestia PGUPS. 2019. -№1(16) .- p.59-67. Scientific article [in Russian]. DOI:<https://doi.org/10.20295/1815-588X-2019-1-59-67>
 5. Andrienko N.N. Strelovye samohodnye krany. Odessa: Astroprint; 2001. - 706 p. textbook [in Russian].
 6. Jang H, Lee Y, Lee H, Cha Y, Choi S, Park J. (2024). Preventing Overturning of Mobile Cranes Using an Electrical Resistivity Measurement System. Applied Sciences (Switzerland). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), 14 (21), p.1-19. Scientific article. [in English] <https://doi.org/10.3390/app14219623>
 7. Penchuk V.A, Vodolazhchenko A.G., Goruliov A.Ju. Klassifikacia i ieffektivnost primeneniya vynosnyh opor nazemnyh transportno-tehnologicheskikh mashin. Sovremennoe promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. 2019.№4(15). – p.179–89. – Scientific article [in Russian].
 8. Koberg Richard. Stabilizer pad and handle apparatus. pat. US 2014/0319315 A1/ applicant Guthrie Center. – Publ.30.10.2014. patent [in English].
 9. Jefferson Steiner. Outrigger stabilizer pad having a frictional surface. pat. US 2019/0210574 A1. / applicant BigFoot Construction Equipment, Inc. - publ. 11.07.2019. patent [in English].
 10. Paul S. Perkins, Downers Grove. Stabilizer pad and assembly. pat. US 012209378B2 / applicant Raptor Tech, Inc. - publ. 28.01.2025. patent [in English].
 11. Lian Jahua, Jan Junhua, Fan Bo, Lu Junchzhi, Daj Czinsjuan'. Opornaia plita. Pat. CN 208308284 U. 01.01.2019. patent [in Chinese]
 12. Korobeinikov M.S, Zhigailo V.V, Smirnov V.I. Uvelichenie ploshhadi opornoj poverhnosti vynosnyh opor. Pat. RU 215250, МПК B66C 23/78. - 06.12.2022. [in Russian].
 13. Li An'cian, U Gorui, Chzhan Vjei. Opornaia plita dlia krana. Pat. CN 208308284 U. 01.01.2019. patent [in Chinese]
 14. Fant Chzhaomin Li Bijuj. Kranovye opory i podiemnye krany. Pat.CN 203558721U. 23.04.2014. patent [in Chinese]
 15. Viei Chun'sin, Liu Ciuan', Chzhan Czjan'czjun', Chzhan Lian, Li Bidzhu. Opornaia plita i podiemnoe oborudovanie. Pat. CN 102862914 A. 09.01.2013. patent [in Chinese]
 16. Sha Chzhicjan, Sja Chzhuncjan', Shjen' Sin, Ho Jan'hun, Li Cjan'haj, U Konggan Huan' Czichun', et al. Vysokoprochnaja stal'naja podlozhka. Pat. CN 112456355A. 09.03.2021. patent [in Chinese]
 17. Tulekov A, Togizbayeva B, Kenesbek I, Kenesbek A, Zabiyeva A.(2023). The Use of Composite Materials in the Production of Tower Cranes. Acta Polytechnica Hungarica. 20(9). 277-291. Scientific article [in English]. DOI: [10.12700/APH.20.9.2023.9.16](https://doi.org/10.12700/APH.20.9.2023.9.16)

18. Solazzi L, Vaccari M. (2022). Feasibility study of a jib crane made of composite materials considering deterministic and probabilistic approach. *Composites Part C: Open Access*. 9(12). 1-16. Scientific article [in English]. DOI: [10.1016/j.jcomc.2022.100323](https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2022.100323)
19. Siui Cziun' Lju Chzhjen'in. (2022) Issledovanie opornyh ielementov dlja spasatel'nogo zheleznodorozhnogo kрана. *Machine Chine*. №29. P.95–98. - Scientific article [in Chinese]
20. Federal'noe agentstvo po tehničeskomu regulirovaniju i metrologii. *Volokna uglerodnye. Obshhie tehničeskie trebovanija i metody ispytaniy*. Moskva, Standartinform. 2020. – 15 c. - [in Russian].
21. Kolobkov A. Razvitie tehnologij poluchenija uglerodnyh volokon (obzor). *Kompozicionnye materialy. Trudy VIAM № 8 (114)*. 2022. C.123-131.–Scientific article [in Russian]. DOI:<https://doi.org/10.18577/2307-6046-2022-0-8-123-131>
22. Juj Djehaj, Jan Gan, Li Sjangan, Van Min' Shun'. Signalizator oprokidyvanija dlja vynosnyh opor i stroitel'noj tehniki. Pat. CN 103359080 A. 23.10.2013. patent [in Chinese]
23. Reinhold Ost, Klaus Haerle, Stefan Amendt. Measurement system for determining support force. pat.US 010308487B2; - publ. 04.06.2019. patent [in English].
24. John F. Benton, Matthew T. Oswald, Stephen J.Schoonmaker. Outrigger pad monitoring system. pat.US 20140116975 A1. - publ. 01.05.2014. patent [in English].
25. Kadyrov A.S, Kadyrova I.A. *Osnovy nauchnyh issledovanii: Monografija*. Karaganda: KarGTU; 2015. – 278с. – textbook [in Russian].
26. Vainson A.A. *Podiemno-transportnye mashiny*. Moskva: Mashinostroenie;1989. – 536 с. – textbook [in Russian].
27. Sheffler M, Pajer G, Kurt F. *Osnovy rasčeta i konstruirovania podiemno-transportnyh mashin*. Moskva: Mashinostroenie; 1980. – 255 с. – textbook [in Russian].
28. Dukel'skii A.I.. *Spravochnik po kranam*. Tom 1. Leningrad: Mashinostroenie; 1971. – 400с. – textbook [in Russian].
29. Shapiro L.K., Shapiro J.P. *Cranes and Derricks*. McGraw-Hill Companies. Fourth Edition. 2010. p.637. - textbook [in English].
30. Ali GM, Mansoor A, Liu S, Olearczyk J, Bouferguene A, Al-Hussein M. (2021). Simulation of ground bearing pressure profile under hydraulic crane outrigger mats for the verification of 16-point combined loading. *Procedia Computer Science* 180(3). p.482–491. Scientific article. [in English] DOI: [10.1016/j.procs.2021.01.264](https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.01.264)

Информация об авторах:

Хайытбаева Глория Базарбаевна – докторант образовательной программы 8D07113 «Транспорт, транспортная техника и технологии», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан.

Мурзагалиев Ахмет Жакеевич – кандидат технических наук, доцент, Актюбинский региональный университет имени К.Жубанова, Актобе, Казахстан. email:amurzagaliev@zhubanov.edu.kz

Сазамбаева Баян Токушевна – доктор технических наук, профессор Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан.

Ордабаева Гүлсайра Муайыковна – старший преподаватель кафедры «Транспортная техника, организация перевозок и стротельства», АРУ им. К. Жубанова, Актобе, 030012,

Республика Казахстан, Актюбинский региональный университет имени К.Жубанова, Актөбе, Казахстан. e-mail:gulsairaordabaeva@gmail.com

Косыбаев Ж.З. – кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика», ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, К. Сатпаева, 2, 010000, Астана, Казахстан

Хайытбаева Глория Базарбаевна – Л. Н.Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университетінің, 8D07113 «Көлік, көлік техникасы және технологиялары» білім беру бағдарламасының докторанты, Астана, Қазақстан.

Мурзагалиев Ахмет Жакеевич – техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан, email:amurzagaliyev@zhubanov.edu.kz

Сазамбаева Баян Токушевна – техника ғылымдарының докторы, профессор, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана, Қазақстан.

Ордабаева Гүлсайра Муайыковна – аға оқытушы, Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан. e-mail:gulsairaordabaeva@gmail.com

Қосыбаев Ж.З. – педагогика ғылымдарының кандидаты, «Электр энергетикасы» кафедрасының доценті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қ. Сәтбаев көш., 2, 010000, Астана, Қазақстан.

Khayitbayeva Gloriya Bazarbaevna – doctoral student of the educational program 8D07113 - «Transport, transport technique and technologies», L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

Murzagaliyev Akhmet Zhakiyevich – Candidate of Technical Sciences, Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan. email:amurzagaliyev@zhubanov.edu.kz

Sazambayeva Bayan Tokushevna – Doctor of Technical Sciences, Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan;

Ordabayeva Gulsaira Muayikovna – Senior lecturer, Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan. e-mail:gulsairaordabaeva@gmail.com

Kosybayev Zh.Z. – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of "Electric Power Engineering", L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpayev St., 010000, Astana, Kazakhstan



Copyright: © 2026 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).