

ISSN 1993-3517 (online)

Металлические конструкции. 2024. Т. 30, № 4. С. 189–196.

Metal Constructions. 2024. Vol. 30, no. 4. P. 189–196.

Научная статья

УДК 69.057.7: 621.873

doi: 10.71536/mc.2024.v30n4.3

edn: mhthkhk



(24)-0415-1

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ БАШЕННОГО КРАНА В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Александр Владимирович Пичахчи

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ДНР, Макеевка, Россия, a.v.pichakhchi@donmasa.ru*

Аннотация. В статье рассматривается актуальная проблема обеспечения безопасности башенных кранов в процессе их эксплуатации. Особое внимание уделено анализу причин падений кранов, включая влияние ветровых нагрузок, колебаний металлоконструкций и отказов механизмов. Приводятся данные о современных подходах контроля состояния конструкций с использованием вибрационного мониторинга, инклинометров и других методов. Рассматриваются вопросы динамического поведения кранов при изменении ветровых условий, влияния изменения жёсткости конструкций и работы систем защиты. Описаны возможности применения компьютерных технологий и аналитических моделей для анализа устойчивости кранов. Указаны преимущества внедрения интеллектуальных систем мониторинга и контроля за состоянием металлоконструкций для предотвращения аварий. Также обсуждается необходимость учёта индивидуальных условий эксплуатации, включая розу ветров и особенности строительной площадки, что позволит повысить надёжность и долговечность башенных кранов.

Ключевые слова: техническое состояние, вибрация, башенный кран, металлоконструкции, ветровая нагрузка, мониторинг состояния

Для цитирования: Пичахчи А. В. Оценка технического состояния металлоконструкций башенного крана в процессе эксплуатации // *Металлические конструкции*. 2024. Том 30, № 4. С. 189–196. doi: 10.71536/mc.2024.v30n4.3. edn: mhthkhk.

Original article

ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE STEEL STRUCTURES OF THE TOWER CRANE DURING OPERATION

Aleksandr V. Pichakhchi

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
DPR, Makeevka, Russia, a.v.pichakhchi@donmasa.ru*

Abstract. The article discusses the actual problem of ensuring the safety of tower cranes during their operation. Special attention is paid to the analysis of the causes of crane falls, including the influence of wind loads, vibrations of metal structures and failures of mechanisms. Data on modern approaches to monitoring the condition of structures using vibration monitoring, inclinometers and other methods are presented. The issues of dynamic behavior of cranes under changing wind conditions, the impact of changes in structural rigidity and the operation of protection systems are considered. The possibilities of using computer technologies and analytical models to analyze crane stability are described. The advantages of introducing intelligent monitoring and condition control systems for metal structures to prevent accidents are indicated. The need to take into account individual operating conditions, including the wind rose and the features of the construction site, is also discussed, which will increase the reliability and durability of tower cranes.

© Пичахчи А. В., 2024



Keywords: technical condition, vibration, tower crane, metal structures, wind load, condition monitoring

For citation: Pichakhchi A. V. Assessment of the technical condition of the steel structures of the tower crane during operation. *Metal Constructions*. 2024;30(4): 189-196. (in Russ.). doi: 10.71536/mc.2024.v30n4.3. edn: mhtkhk.

Актуальность темы

Башенные краны обеспечивают вертикальное и горизонтальное транспортирование строительных материалов, элементов и конструкций к рабочему месту, что определяет темп строительства. В то же время, падение башенных кранов остаётся одним из самых неожиданных видов отказа, связанного всегда с тяжёлыми последствиями и многомиллионными убытками. Появление современной виброизмерительной техники и компьютерных технологий позволит предупредить некоторые из причин и исключить ликвидацию последствий падений кранов.

Разработка одного из подходов контроля состояния металлоконструкций башенных кранов в процессе эксплуатации на базе анализа трендов изменения податливости системы относительно изменения направления ветровой нагрузки представляет актуальную задачу обеспечения безопасности высотного строительства.

Анализ публикаций

После анализа причин падений кранов (рис. 1), в работе [1] на основе результатов, полученных с использованием расчётной программы SCAD 11.5 показано, что наиболее опасным для металлоконструкций башенных кранов является комбинация нагрузений при действии динамической составляющей ветра. Практика показывает, что от сильного порыва ветра может упасть даже неработающий механизм, если не будет закреплён противоугонными захватами. Падение стрелы башенного крана может произойти из-за обрыва каната стрелового расчала [2]. В качестве причин падения кранов в работах [3; 4; 5] также ука-

зывается влияние ветровой нагрузки, наряду с другими факторами. Об участившихся случаях падения башенных кранов не только в нашей стране, но и за рубежом приводятся данные в статьях [6; 7]. В статье [8] указано, что «в настоящее время мало внимания уделяется динамическим (в частности ветровым) нагрузкам в ходе работы башенного крана, оказывающим большое влияние на его устойчивость».

Вопросы интеллектуального мониторинга строительных башенных рассматриваются в работе [9]. Результаты исследования устойчивости башенного крана на основе программного обеспечения ANSYS приведены в статье [10]. Фактор надёжности человеческого фактора в интеллектуальном интерфейсе машиниста башенного крана на строительной площадке рассмотрен в работе [11]. Следовательно, анализ поведения стационарных башенных кранов при ветровых нагрузках в реальном масштабе времени представляет теоретический и практический интерес, учитывая возможности существующей техники.

Цель работы

Разработка и обоснование методики интеллектуального мониторинга состояния металлоконструкций башенных кранов в процессе эксплуатации с учетом воздействия динамических и ветровых нагрузок.

Основной материал

При работе башенного крана возникают высокочастотные колебания при работе механизмов

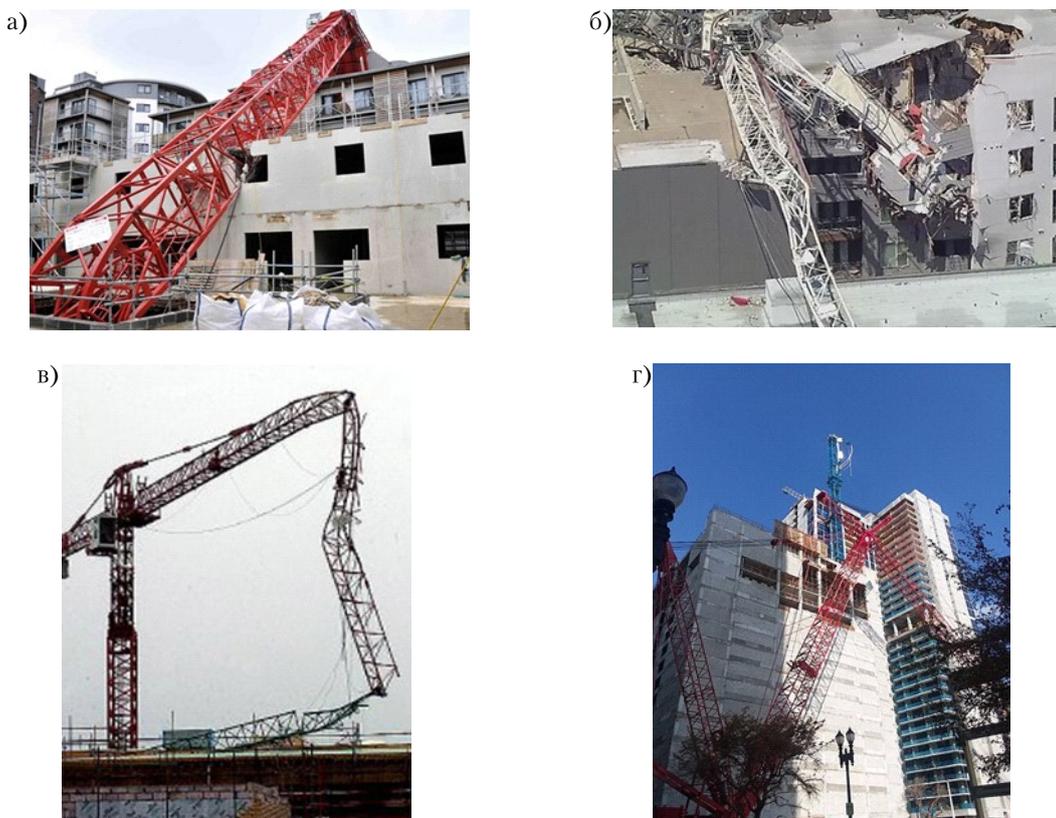


Рисунок 1. Примеры аварий: а, б) падение башенных кранов; в, г) падение стрелы.

подъёма, передвижения тележки, поворота и низкочастотные, соответствующие частоте собственных колебаний металлоконструкции под воздействием внешнего источника – порывов ветра. При этом поворот стрелы относительно направления ветра приводит к изменению парусности конструкции и изменению отклонения от вертикальной оси. Это позволяет продублировать работу систем контроля и защиты используя два подхода.

Состояние опорного кольца для высотных башенных кранов является определяющим в объёмах восстановительных работ. Поэтому, вибрационный контроль временных реализаций механических колебаний на основе стабильности и повторяемости значений, позволяет предупредить момент нарушения исправного состояния и провести дополнительное смазывание исключить длительный простой. Одновременно, пьезоэлектрические датчики, установленные на опорном кольце, будут фиксировать колебания конструкции при работе механизмов подъёма и передвижения тележки. Известным фактом яв-

ляется возникновение колебаний в стреле при подъёме груза с подхватом или при резком опускании. Колебания, возникающие при этом имеют период, соответствующий частоте собственных колебаний металлоконструкции стрелы. Необходимо учитывать при этом положение крюковой подвески относительно кабины оператора (L), меняющей частоту собственных колебаний конструкции F_{cm} . Исследования, выполненные на моделях башенных кранов, подтверждают данную возможность (рис. 2). Получение зависимости $F_{cm} = f(L)$ возможно в процессе работы и сбора данных. Изменение данной зависимости будет свидетельствовать об изменениях в жёсткости конструкции, наиболее вероятно повышенной податливости, что потребует принятия решения об обнаружении причины после тщательного обследования на основе рекомендаций математического моделирования.

Для оценки технического состояния металлоконструкций башенных кранов и их поведения под воздействием эксплуатационных нагрузок была использована специализированная

лабораторная установка (рис. 3). Она представляет собой масштабированную модель башенного крана, позволяющую исследовать влияние различных факторов, таких как динамические нагрузки, воздействие ветра, вибрации и структурные деформации.

В ходе экспериментальных исследований, на данной установке, изучались изменения жёсткости конструкции, колебательные процессы и устойчивость крана при изменении условий эксплуатации. На модель устанавливались датчики, фиксирующие параметры колебаний, углы

наклона и напряжённно-деформированное состояние элементов конструкции. Используемые приборы позволили в режиме реального времени отслеживать поведение крана при различных нагрузках и корректировать вычислительные модели, применяемые для оценки реальных строительных объектов.

Экспериментальные данные, полученные в лабораторных условиях, подтвердили важность постоянного мониторинга состояния кранов на строительных площадках. В частности, исследования показали, что влияние порывов ветра и

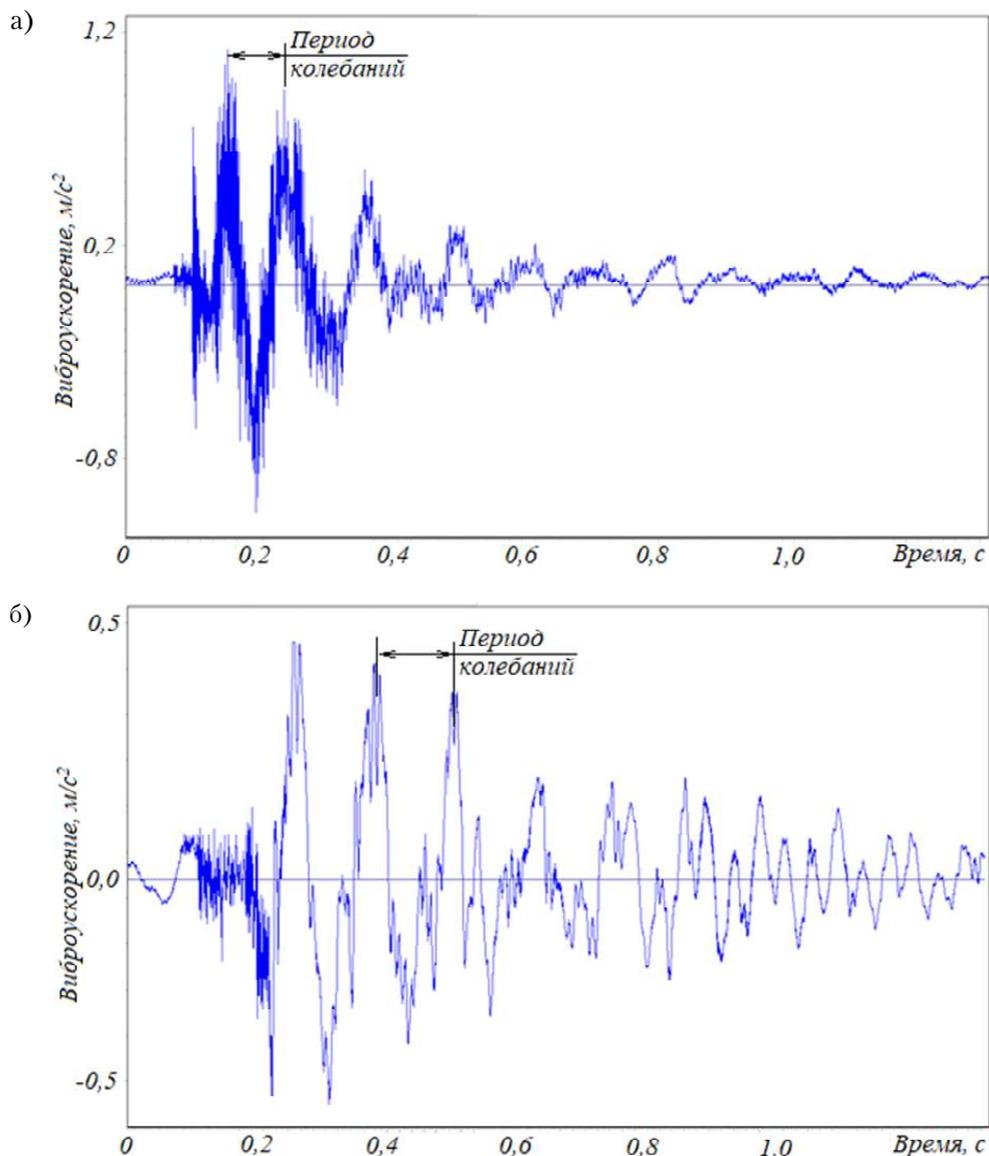


Рисунок 2. Реализации временного сигнала виброускорения на стреле моделей башенных кранов при резком снятии нагрузки.



Рисунок 3. Лабораторная модель башенного крана, использованная для исследования динамических характеристик металлоконструкции.

асимметричных нагрузок может значительно изменять параметры работы крана, повышая риск возникновения аварийных ситуаций. Полученные результаты были использованы для разработки рекомендаций по оптимизации конструктивных элементов башенных кранов и внедрению интеллектуальных систем мониторинга, обеспечивающих безопасность эксплуатации.

В соответствии с требованиями [12] высотные башенные краны должны оснащаться анемометром. Расчёт статической и динамической ветровой нагрузки регламентируется стандартом [13]. Известные работа по устойчивости башенного крана при воздействии ветровой нагрузки [14; 15] показывают сложность учёта реальных условий на строительной площадке, что определяют восходящие и нисходящие вихревые потоки резкое изменение погодных условий, влияние затенения и др. В расчёте ветровой нагрузки присутствует неопределённость: наветренной площади; динамического давления ветра; коэффициентов аэродинамической силы и возрастания динамического давления по высоте. Индивидуальность установки, непредсказуемость розы ветров тре-

буют обеспечения методов защиты, способов информирования операторов о превышении ветровой нагрузки с использованием известных инженерных подходов.

При известной скорости (v_B) и направлении (α) ветра, появляется возможность рассчитать ветровую нагрузку после измерения отклонений вертикальной конструкции (γ) используя инклинометр, сейсмический датчик или лазерную систему измерения деформаций (рис. 4). Поворот стрелы (φ) при неизменном направлении ветра приведёт к изменению парусности и изменению показаний датчиков или смещению положения лазерных отметок относительно вертикали. Расчёт необходимых зависимостей ($\gamma = f(v_B, \alpha, \varphi)$) позволит сформировать эталонную картину при работе исправного крана в конкретных условиях, а возможные отклонения будут свидетельствовать об изменении податливости системы и необходимости реакции либо путём фиксации крана дополнительными устройствами (противоугонными, канатными) или проведением осмотра металлоконструкций для обнаружения трещин, снижения толщины элементов,

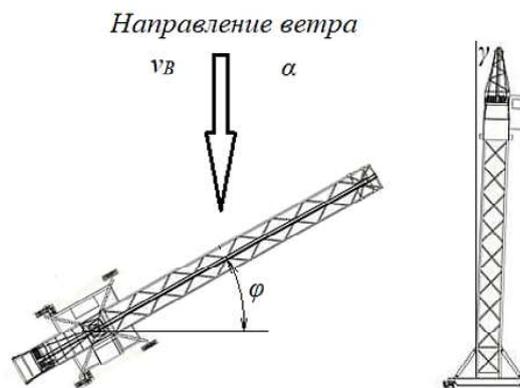


Рисунок 4. Схема к определению зависимости $\gamma = f(v_B, \alpha, \varphi)$.

ослабления резьбовых соединений. Установка тензодатчиков – ещё одно из возможных решений для оценки равномерности нагружения элементов металлоконструкций крана.

Заключение

Обеспечение безопасности эксплуатации башенных кранов в сложных условиях строительных площадок является важной задачей, требующей внедрения современных технологий мониторинга и контроля. Представленные в статье данные и подходы демонстрируют значимость оценки технического состояния металлоконструкций с учетом воздействия ветровых и динамических нагрузок. Использование вибрационного контроля, пьезоэлектрических датчиков, а также расчет зависимостей, основанных на изменении податливости конструкции, позволяет прогнозировать

возможные предотказные ситуации и своевременно принимать меры для их предотвращения. Практическая реализация данных подходов, включая использование анемометров, инклинометров, сейсмических датчиков и лазерных систем измерения, способствует повышению надежности работы кранов, снижению риска аварий и минимизации финансовых потерь. Результаты исследований подчеркивают необходимость дальнейшего развития систем интеллектуального мониторинга, которые обеспечат автоматизацию процессов контроля, оперативное оповещение операторов и оптимизацию обслуживания строительной техники.

Применение комплексного подхода к оценке состояния башенных кранов представляет собой важный шаг в обеспечении безопасности высотного строительства и минимизации последствий непредвиденных ситуаций.

Список источников

1. Арискин, М. В. Анализ причин падения башенного крана на основе построения модели в SCAD 11.5 // М. В. Арискин, И. Н. Гарькин. – Текст : непосредственный // *Фундаментальные исследования*. – 2016. – № 10. – С. 243–247.
2. Причины падения стрел башенных кранов КБ-408.21 / А. Наумов, А. Архипкин, А. Кочешов,

References

1. Ariskin, M. V.; Garkin, I. N. Analysis of the causes of the fall of a tower crane based on the construction of a model in SCAD 11.5. – Text : direct. – In: *Fundamental research*. – 2016. – № 10. – P. 243–247. (in Russian)
2. Naumov, A.; Arkhipkin, A.; Kocheshov, A.; Levin, P. Causes of the fall of the booms of tower cranes

- П. Левин. – Текст : непосредственный // Тех-Надзор. – 2016. – № 3(112). – С. 124–125.
3. Савченко, Н. В. Анализ причин аварий крановых механизмов // Н. В. Савченко, А. Н. Савченко, Ю. Г. Ежов. – Текст : непосредственный // Промышленные и строительные технологии. – 2015. – № 1(1). – С. 1–9.
 4. Федина, Е. В. Анализ основных причин травматизма при эксплуатации башенных кранов / Е. В. Федина, С. Л. Пушенко. – Текст : электронный // Инженерный вестник Дона. – 2012. – № 4. – С. 1–4. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-osnovnyh-prichin-travmatizma-pri-ekspluatatsii-bashennyh-kranov> (дата обращения: 07.11.2024). – ISSN 2073-8633.
 5. Михеев, В. А. Причины аварии башенного строительного крана БК-1000 / В. А. Михеев, В. Т. Власов, В. В. Суглобов. – Текст : непосредственный // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2009. – № 2(1). – С. 211–214.
 6. Горелов, В. Н. Определение причин аварии башенного крана КБ-473 / В. Н. Горелов, А. К. Федосеев, А. А. Конончук. – Текст : непосредственный // Современные научные исследования и инновации. – 2016. – № 2(58). – С. 162–170.
 7. Ющенко, Ю. И все-таки они падают / Ю. Ющенко, А. Щетников. – Текст : электронный // Журнал Грейдер. – 2014. – № 4(04). – С. 28–33. – URL: https://igrader.ru/magazines/grejder2014_4/ (дата обращения : 20.11.2024).
 8. Синельщиков, А. В. Устойчивость башенных кранов при переменных эксплуатационных состояниях / А. В. Синельщиков, Б. Л. Булатов. – Текст : непосредственный // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2012. – № 2(54). – С. 41–44.
 9. Intelligent BIM-Based Monitoring of Construction Tower Cranes / Y. Zhang, Y. Xie, F. Yue [et al.]. – Текст : электронный // Proceedings of the 26th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate, 2 September, 2022, Singapore – Singapore : [Springer], 2022. – P. 109–126. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-19-5256-2_10.
 10. Research on Stability of Tower Crane based on ANSYS Software / H. Kang, J. Gao, S. Wang, K. Zhou [et al.]. – Текст : электронный // Frontiers in Computing and Intelligent Systems. – 2024. – Volume 8, № 3. – С. 74–79. – DOI: <https://doi.org/10.54097/dfa06z68>.
 11. Lixia, N. Human reliability of the intelligent construction site tower crane driver interface based on DEMATEL-ISM-BN / N. Lixia, W. Si. – Текст : электронный // Plos One. – 2024. – № 19(10). – P. 1–27. – <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0303996>.
 12. Российская Федерация. Приказ. Об утверждении Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения» : приказ КБ-408.21. – Text : direct. – In: *TekhNadzor*. – 2016. – № 3(112). – P. 124–125. (in Russian)
 3. Savchenko, N. V.; Savchenko, A. N.; Yezhov, Yu. G. Analysis of the causes of accidents with crane mechanisms. – Text : direct. – In: *Industrial and construction technologies*. – 2015. – № 1(1). – P. 1–9. (in Russian)
 4. Fedina, E. V.; Pushchenko, S. L. Analysis of the main causes of injuries during the operation of tower cranes. – Text : direct. – In: *Engineering Bulletin of the Don*. – 2012. – № 4. – P. 1–4. – URL: <https://cyber-leninka.ru/article/n/analiz-osnovnyh-prichintrav-matizma-pri-ekspluatatsii-bashennyh-kranov> (date of access: 07.11.2024). – ISSN 2073-8633. (in Russian)
 5. Mikheev, V. A.; Vlasov, V. T.; Suglobov, V. V. Causes of the accident of the BK-1000 tower construction crane. – Text : direct. – In: *Bulletin of Tula State University. Technical sciences*. – 2009. – № 2(1). – P. 211–214. (in Russian)
 6. Gorelov, V. N.; Fedoseev, A. K.; Kononchuk, A. A. Determining the causes of the accident of the KB-473 tower crane. – Text : direct. – In: *Modern scientific research and innovation*. – 2016. – № 2(58). – P. 162–170. (in Russian)
 7. Yushchenko, Yu.; Shchetnikov, A. And yet they fall. – Text : electronic. – In: *Grader Magazine*. – 2014. – № 4 (04). – P. 28–33. – URL: https://igrader.ru/magazines/grejder2014_4/ (date of access: 20.11.2024). (in Russian)
 8. Sinelshchikov, A. V.; Bulatov, B. L. Stability of tower cranes under variable operational conditions. – Text : direct. – In: *Bulletin of the Astrakhan State Technical University*. – 2012. – № 2(54). – P. 41–44. (in Russian)
 9. Intelligent BIM-Based Monitoring of Construction Tower Cranes / Y. Zhang, Y. Xie, F. Yue [et al.]. – Tissue : manufacturing // Proceedings of the 26th International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate, “2 September, 2022, Singapore – Singapore : [Springer], 2022. – P. 109–126. – DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-19-5256-2_10.
 10. Kang, H.; Gao, J.; Wang, S.; Zhou, K. [et al.]. Research on Stability of Tower Crane based on ANSYS Software. – Text : electronic. – In: *Frontiers in Computing and Intelligent Systems*. – 2024. – Volume 8, № 3. – P. 74–79. – DOI: <https://doi.org/10.54097/dfa06z68>.
 11. Lixia, N.; Si, W. Human reliability of the intelligent construction site tower crane driver interface based on DEMATEL-ISM-BN. – Text : electronic. – In: *Plos One*. – 2024. – № 19(10). – P. 1–27. – <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0303996>.
 12. Russian Federation. Order. On approval of the Federal norms and rules in the field of industrial safety «Safety rules for hazardous industrial facilities where lifting structures are used»: Order of Rostekhnadzor : approved on 26.11.2020 № 461. – Text : electronic. – Moscow, 2020. – 95 p. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202012310065> (date of access: 20.11.2024). (in Russian)

- Ростехнадзора : утверждён 26.11.2020 № 461. – Текст : электронный. – Москва, 2020. – 95 с. – URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202012310065> (дата обращения: 20.11.2024).
13. ГОСТ 1451-77-2003. Краны грузоподъемные. Нагрузка ветровая. Нормы и метод определения. Основные положения : издание официальное : утверждено и введен в действие Постановлением Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 24 марта 1977 г. № 719 : дата введения 1977-24-03 / Разработан Всесоюзным научно-исследовательским и проектно-конструкторским институтом подъемно-транспортного машиностроения, погрузочно-разгрузочного складского оборудования и контейнеров (ВНИИПТМАШ). – Москва : Государственный комитет СССР по стандартам, 2003. – 28 с. – Текст : непосредственный.
 14. Синельщиков, А. В. Прочность башенного крана КБМ-401П при ветровом воздействии / А. В. Синельщиков, А. И. Джалмухамбетов. – Текст : непосредственный // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2017. – № 3(21). – С. 30–35.
 15. Тарасова, Т. В. Исследование устойчивости башенных кранов при воздействии ветровых нагрузок // Т. В. Тарасова. – Электронный научно-практический журнал «Современные научные исследования и инновации». – 2016. – № 6. – URL: <https://web.snauka.ru/issues/2016/06/68604> (дата обращения: 08.12.2024).
 13. GOST 1451-77-2003. Overhead cranes. Wind load. Standards and determination method. Basic provisions : official edition : approved and put into effect by the Resolution of the State Standards Committee of the Council of Ministers of the USSR dated March 24, 1977 № 719 : date of introduction 1977-24-03 / Developed by the All-Union Research and Design Institute of Lifting and Transport Machinery, Loading and Unloading Warehouse Equipment and Containers (VNIIPTMASH). – Moscow : USSR State Standards Committee, 2003. – 28 p. – Text : direct.
 14. Sinelshchikov, A. V.; Dzhalmukhambetov, A. I. Strength of the KBM-401P tower crane under wind influence. – Text : direct. – In: *Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region*. – 2017. – № 3(21). – P. 30–35. (in Russian)
 15. Tarasova, T. V. Study of stability of tower cranes under wind loads // T. V. Tarasova. – Electronic scientific and practical journal «Modern scientific research and innovation». – 2016. – № 6. – URL: <https://web.snauka.ru/issues/2016/06/68604> (date of access: 08.12.2024). (in Russian)

Информация об авторе

Пичахчи Александр Владимирович – ассистент кафедры наземных транспортно-технологических комплексов и средств Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: контроль технического состояния механизмов по параметрам вибрации, повышение безотказности механизмов и машин.

Information about the author

Pichakhchi Aleksandr V. – Ph. D. (Eng.), Assistant, Department of Land Transport and Technological Complexes and Facilities, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: monitoring the technical condition of mechanisms by vibration parameters, improving the reliability of mechanisms and machines.

Статья поступила в редакцию 29.11.2024; одобрена после рецензирования 19.12.2024; принята к публикации 23.12.2024.

The article was submitted 29.11.2024; approved after reviewing 19.12.2024; accepted for publication 23.12.2024.