

УДК 69.002.5/.04

## АНАЛИЗ ПРИЧИН ПАДЕНИЯ БАШЕННОГО КРАНА НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ МОДЕЛИ В SCAD 11.5

Арискин М.В., Гарькин И.Н.

ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства»,  
Пенза, e-mail: igor\_garkin@mail.ru

Отмечается рост аварийных ситуаций грузоподъемной техники (в частности, башенных кранов), в том числе заканчивающихся человеческими жертвами, на территории Российской Федерации. В работе анализируются причины падения башенного крана КБ-403 Б на площадке строительства жилого дома в городе Балашов, Саратовской области. Метод определения причин падения крана основывается на моделировании возникновения возможных вариантов аварийных ситуаций в расчетно-графической программе SCAD 11.5. Рассматриваются различные варианты загрузок и деформаций конструкций башенного крана. Приводятся меры по повышению безопасности на строительной площадке при работе грузоподъемных механизмов. Доказывается необходимость проведения периодической экспертизы промышленной безопасности грузоподъемных механизмов. Статья написана на основе данных полученных авторами в ходе проведения строительно-технической экспертизы причин падения крана.

**Ключевые слова:** обрушение, башенный кран, моделирование, аварийные ситуации, охрана труда, SCAD, промышленная безопасность

## ANALYSIS OF FALLING HAMMER-HEAD CRANE BASED ON CREATION MODELS IN SCAD 11.5

Ariskin M.V., Garkin I.N.

Penza State University of Architecture and Construction, Penza, e-mail: igor\_garkin@mail.ru

There is growing emergency lifting equipment (eg hammer-head cranes) including ending of human life in the territory of the Russian Federation. The paper analyzes the causes of the fall of the KB-403 B tower crane on the construction site of civil house at Balashov city, Saratov region. Method of determining the causes of the fall of the crane is based on a simulation of possible emergencies options in cash-graphics program SCAD 11.5. Different variants of loads and deformations of constructions of a hammer-head crane. Provides measures to improve safety at the construction site when the lifting mechanisms. The necessity of carrying out of examination of industrial safety of lifting mechanisms. Article was written on the basis of construction and technical expertise of data.

**Keywords:** collapse, tower crane, simulation, emergencies, health and safety, the SCAD, industrial safety, labor protection

В последние годы на территории Российской Федерации участились аварии грузоподъемных механизмов, в частности башенных кранов. Так, по данным Сибирского управления Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзор) за 2015 г. в России произошло 4 падения башенных кранов (рост в 58% по сравнению с 2014 г.), в результате которых травмы получили более 10 человек (увеличилось на 64%). Особо резонансный случай произошёл в г. Омске (рис. 1), когда в результате падения башенного крана КБ-403А погибли четыре, двое человек были госпитализированы.

В результате аварий, помимо человеческих жертв, организации и государство несут многомиллионные убытки. Выявление типичных причин при таких авариях является весьма важной и трудной задачей, требующей проведения различных вариантов экспертиз (технической, судебной и др.) [1, 2].



Рис. 1. Обрушение башенного крана в г. Омске

Рассмотрим анализ причин падения башенного крана на примере несчастного случая, произошедшего на площадке строительства жилого дома в г. Балашов

Саратовской области (падение крана КБ-403Б). Машинист башенного крана поднял груз на высоту 35...37 м и начал перемещать кран в сторону. Предположительно внезапный порыв ветра, воздействуя на металлоконструкции крана, способствовал ускорению его перемещения, и, с учётом отсутствия тормозного момента механизма передвижения, кран стал неуправляемым. Продолжая движение по крановым путям под воздействием ветра, кран сдвинул тупиковые упоры, ударился о контрольный груз и, опрокинув его, сошёл с крановых путей. Наличие положительной экспертизы промышленной безопасности данного крана должно свидетельствовать о том, что повреждений и дефектов металлических конструкций крана до аварии зафиксировано не было.



*Рис. 2. Обрушение башенного крана в г. Кемерово*



*Рис. 3. Падение башенного крана в г. Липецке*

Одним из наиболее доступных методов определения возникновения причин

аварийных ситуаций является проведение анализа на основе построения модели в расчётных комплексах (SCAD, ЛИРА и т.д.).



*Рис. 4. Падение башенного крана в Подмосковьё*

Для подтверждения причин падения крана в расчётной программе SCAD 11.5 были смоделированы несколько аварийных ситуаций (различные варианты загрузки, при разных углах поворота стрелы). При этом были сделаны следующие допущения (ввиду неполной информации об элементах конструкции крана):

- колесная база смоделирована по конфигурации крана объёмными пространственными элементами без отверстий с общей массой, не отличающейся от паспортной;

- поворотный механизм и противовес смоделированы по такому же принципу, как и колесная база;

- сечения портала, башни, секций стрелы согласно значениям, указанным в паспорте крана;

- модель выполнена с допущениями, несущими в себе некоторый запас прочности;

- одним из основных критериев оценки состояния конструкций являются деформации (рис. 5...9).

Таким образом, из схем деформирования видно, что наиболее опасным является комбинация загрузок при действии динамической составляющей ветра. По заданным моделям получены результаты, которые, для удобства исследования и сопоставления с нормативными, сведены в таблицу.

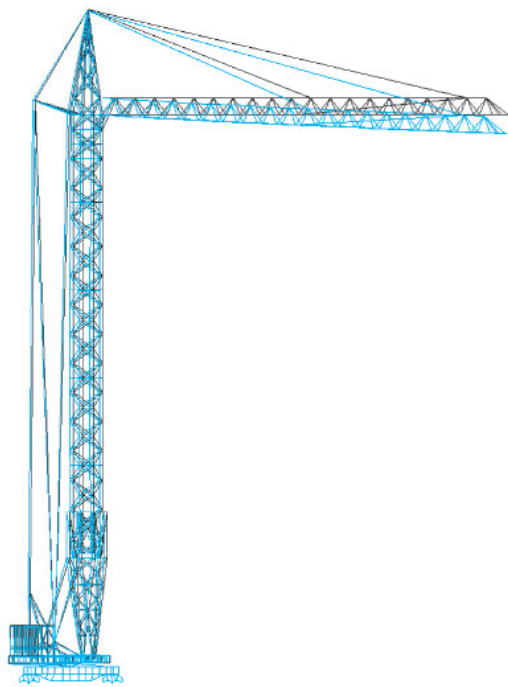


Рис. 5. Деформации крана при 1 комбинации нагрузжений (от перегруза поддона)

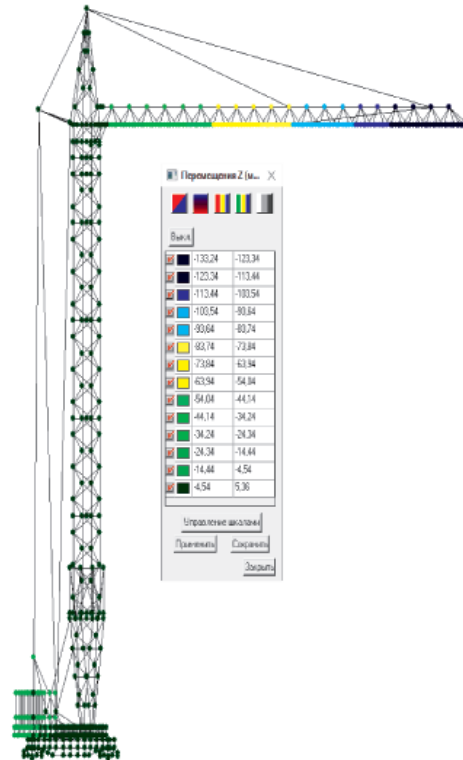


Рис. 7. Деформации крана при 1 комбинации нагрузжений (динамическая нагрузка при угле стрелы 24)

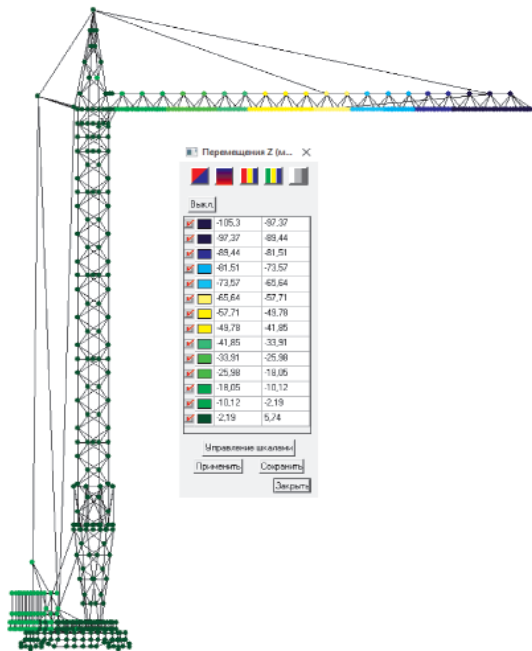


Рис. 6. Деформации крана при собственном весе крана

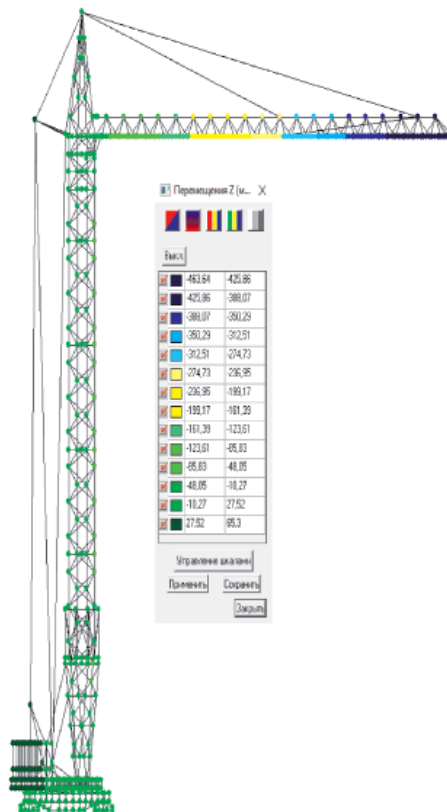


Рис. 8. Деформации крана при 2 комбинации нагрузжений (динамическая нагрузка при угле стрелы 60)

Наиболее неблагоприятное сочетание усилий содержит нагрузку собственного веса крана, веса поддона, ветрового воздействия (динамическая составляющая), движения крана.

Движение крана началось при самом неблагоприятном положении стрелы крана к оси движения, а именно 24°.

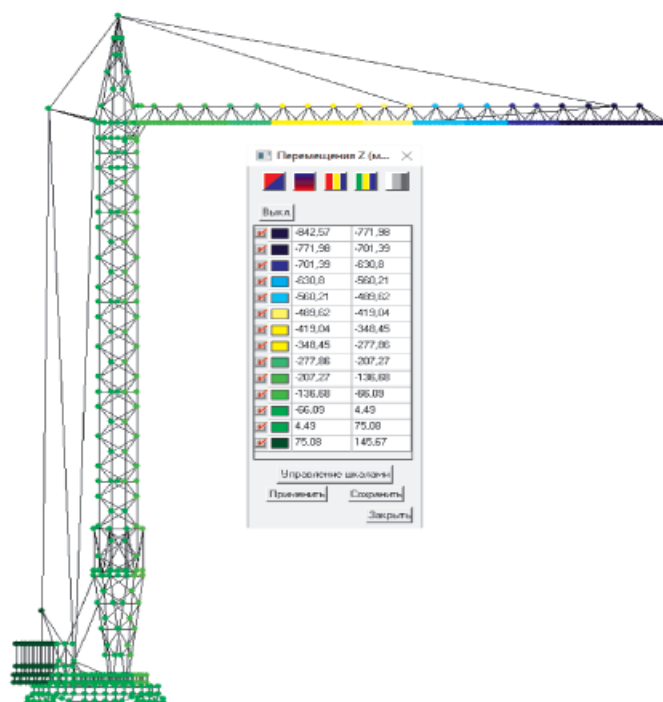


Рис. 9. Деформации крана при 3 комбинации загрузжений (динамическая нагрузка при угле стрелы 90)

Значения опрокидывающих моментов при различных углах поворота стрелы

Угол поворота стрелы относительно рельсов	Значения опрокидывающих моментов при различных загрузжениях (размерность т·м)					
	Собственный вес крана + вес поддона	Собственный вес крана + вес поддона + движение крана	Собственный вес крана + вес поддона + ветровое воздействие (статическое)	Собственный вес крана + вес поддона + ветровое воздействие (динамическое)	Собственный вес крана + вес поддона + ветровое воздействие (статическое)	Собственный вес крана + вес поддона + ветровое воздействие (динамическое)
24	–	77,22	26,34	199,08	<b>313,62</b>	<b>724,92</b>
60	–	37,8	–	167,88	230,04	<b>403,92</b>
90	–	18,3	–	163,92	181,86	<b>367,38</b>

Опрокидывание крана происходило при угле поворота стрелы при 24°, при нагрузках собственного веса крана, веса поддона, ветрового воздействия (статическая составляющая), движения крана, так как угол поворота стрелы крана 24°, опрокидывающий момент составляет 313,62, что в 1,34 раза больше расчетного.

Опрокидывание крана происходит при всех углах поворота от сочетания нагрузок, содержащих собственный вес крана, вес поддона, ветровое воздействие (динамическая составляющая), движение крана, так как:

– угол поворота стрелы крана 24°, опрокидывающий момент составляет 724,92, что в 3,1 раза больше расчетного;

– угол поворота стрелы крана 60°, опрокидывающий момент составляет 403,92, что в 1,72 раза больше расчетного;

– угол поворота стрелы крана 90°, опрокидывающий момент составляет 367,38, что в 1,57 раза больше расчетного.

Принимая во внимание заложенные в расчётную модель вышеупомянутые условия и результаты, полученные расчётом, можно сделать вывод о том, что тупиковые упоры, установленные в соответствии с требованиями нормативно-технической документации, не предотвратили бы опрокидывание башенного крана, при условии загрузки крана по третьему варианту, т.е. с учётом воздействия шквалистого ветра.

Проведённое исследование в совокупности позволяет сделать вывод, что основной причиной падения башенного крана КБ-403Б, произошедшего на строительной площадке в г. Балашов Саратовской области, является шквалистое усиление ветра при работающем кране. Для предотвращения аналогичных аварий в будущем необходимо запрещать работу при шквалистом ветре и других неблагоприятных погодных условиях.

Таким образом, моделирование является наиболее объективным методом определения причин падения грузоподъёмных механизмов и может использоваться в качестве основы судебно-технической экспертизы, доказывая или опровергая ту или иную версию.

Для повышения безопасности эксплуатации грузоподъёмных механизмов предлагается регулярно проводить их экспертизу промышленной безопасности, комплексное обследование крановых путей, обследование тупиковых упоров. Для более тщательного анализа работы конструкций грузоподъёмных механизмов предлагается проводить динамические испытания металлических конструкций на специально разработанных стендах [5, 6].

#### Список литературы

1. Арискин М.В., Акулин О.И., Секачёв В.А., Сорокин Г.Е., Николаев А.П. Результаты технической экспертизы о причинах разрушения металлоконструкций башенного крана КБ-100.3Б // Молодой учёный. – 2015. – № 17. – С. 95–99.
2. Гарькин И.Н., Гарькина И.А. Анализ причин обрушения строительных конструкций промышленных зданий с позиций системного подхода // Альманах современной науки и образования. – Тамбов: Грамота, 2014. – № 5–6 (84). – С. 48–51.
3. Гарькина И.А., Данилов А.М., Гарькин И.Н. Корреляционные и спектральные методы при мониторинге сложных конструкций // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 1. – С. 104–110.
4. Гарькина И.А., Данилов А.М., Гарькин И.Н. Спектральные методы при анализе динамических систем // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 3. – С. 109–113.
5. Гарькин И.Н. Перспективные разработки в области повышения выносливости подкрановых балок // Успехи

современной науки и образования. – 2016. – № 8. – Т. 3. – С. 83–89.

6. Данилов А.М., Гарькина И.А., Гарькин И.Н. Защита от удара и сопровождающей вибрации: экспоненциально-тригонометрическая аппроксимация функции // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – № 3. – С. 85–88.
7. Нежданов К.К., Гарькин И.Н. Испытание неразрезных подкрановых балок на выносливость // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – № 2. – С. 81–86.
8. Нежданов К.К., Кузьмишкин А.А., Гарькин И.Н. Применение двухстенчатых подкрановых балок с амортизирующим эффектом // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 3. – С. 91–94.
9. Нежданов К.К., Гарькин И.Н. Способ проката двутаврового профиля сечения из низколегированной стали // Строительная механика и расчёт сооружений. – 2011. – № 4. – С. 51–54.
10. Клочев С.В., Клочев А.В. Пределы идентификации природных и инженерных конструкций // Фундаментальные исследования. – 2007. – № 12–2. – С. 68–70.

#### References

1. Ariskin M.V., Akulin O.I., Sekachjov V.A., Sorokin G.E., Nikolaev A.P. Rezultaty tehnicheckoj jekspertizy o prichinah razrushenija metallokonstrukcij bashennogo kрана КБ-100.3Б // Molodoy uchjonyj. 2015. no. 17. pp. 95–99.
2. Garkin I.N., Garkina I.A. Analiz prichin obrushenija stroitelnykh konstrukcij promyshlennykh zdaniy s pozicij sistemnogo podhoda // Almanah sovremennoj nauki i obrazovanija. Tambov: Gramota, 2014. no. 5–6 (84). pp. 48–51.
3. Garkina I.A., Danilov A.M., Garkin I.N. Korreljacionnye i spektralnye metody pri monitoringe slozhnykh konstrukcij // Regionalnaja arhitektura i stroitelstvo. 2014. no. 1. pp. 104–110.
4. Garkina I.A., Danilov A.M., Garkin I.N. Spektralnye metody pri analize dinamicheskikh sistem // Regionalnaja arhitektura i stroitelstvo. – 2014. no. 3. pp. 109–113.
5. Garkin I.N. Perspektivnye razrabotki v oblasti povyshenija vynoslivosti podkranovykh balok // Uspehi sovremennoj nauki i obrazovanija. 2016. no. 8. T. 3. pp. 83–89.
6. Danilov A.M., Garkina I.A., Garkin I.N. Zashhita ot udara i soprovozhdajushhej vibracii: jeksponecialno-trigonometricheskaja approksimacija funkcij // Regionalnaja arhitektura i stroitelstvo. 2012. no. 3. pp. 85–88.
7. Nezhdanov K.K., Garkin I.N. Ispytanie nerazreznykh podkranovykh balok na vynoslivost // Regionalnaja arhitektura i stroitelstvo. 2016. no. 2. pp. 81–86.
8. Nezhdanov K.K., Kuzmishkin A.A., Garkin I.N. Prime-nenie dvuhstenchatykh podkranovykh balok s amortizirujushhim jeffektom // Regionalnaja arhitektura i stroitelstvo. 2013. no. 3. pp. 91–94.
9. Nezhdanov K.K., Garkin I.N. Sposob prokata dvutavrovogo profilja sechenija iz nizkolegirovannoj stali // Stroitel'naja mehanika i raschjot sooruzhenij. 2011. no. 4. pp. 51–54.
10. Kljuev S.V., Kljuev A.V. Predely identifikacii prirodnyh i inzhenernykh konstrukcij // Fundamentalnye issledovanija. 2007. no. 12–2. pp. 68–70.