

ти). Указанное обстоятельство снижает достоверность решения. Погрешность итогового результата при этом оказывается неконтролируемой.

Рекомендации при наличии тупоугольных фрагментов в МКЭ можно сформулировать следующим образом [1]:

- для тупоугольных КЭ базисная функция должна быть выбрана в локальной системе координат, связанной с самой длинной из сторон КЭ;
- требуемые градиенты следует вычислять из указанной базисной функции;
- в качестве точки $N(x,y)$, относительно которой рекомендуется вычислять МЖ, следует использовать либо центр тяжести, либо центр вписанной в КЭ окружности, которые всегда лежат внутри контура КЭ при любой его форме.

Таким образом, две точки – центр тяжести треугольника и центр окружности, вписанной в треугольник, принятые в качестве центра для построения МЖ, дадут результат с заданной методологической погрешностью. Это позволит в процессе реализации МКЭ снять любые ограничения по форме КЭ и тем самым расширить его возможности. Методологическая погрешность решения, при выполнении указанных замечаний, всегда будет сохраняться на уровне $O(h^2)$, где $h = \max(a,b,c)$.

Верификация концепции континуальной МЖ проведена на тестовом примере, в котором реализованы указанные альтернативные МЖ [1]. В качестве контрольного примера взята классическая задача Сен-Венана о кручении стержня прямоугольного сечения, для которой существует аналитическое решение. Результаты анализа показывают, что для случаев когда элементные МЖ вычисляются относительно указанных точек для всех КЭ свойства глобальной МЖ свойства конечно-элементных уравнений значительно улучшаются (~30%). Оценка проводилась по числу обусловленности глобальной МЖ. Возможно использование смешанной стратегии, когда для “хороших” КЭ используется классическая матрица жесткости, а для “тонких” фрагментов один из рекомендуемых вариантов.

Выводы

1. Балансный метод дает возможность получить семейство нестандартных МЖ. Общее число таких решений образует континуальное множество, давая консервативный результат.

2. Классически определяемая МЖ приводит к неконтролируемой погрешности для тупоугольных симплекс-элементов. Решение проблемы существует при использовании альтернативных решений.

3. Нестандартные элементные МЖ позволяют в процессе реализации МКЭ снять любые ограничения по форме КЭ. Свойства конечно-элементных уравнений улучшаются

4. Распространение аналогичного подхода к 3D пространству для КЭ типа тетраэдр предполагается.

Список литературы

1. Булавин, В.Ф. Континуальные схмотехнические модели в методе конечных элементов. *Электричество*, №1/2015, стр.39-51.
2. Ильин В.П. Методы и технологии конечных элементов – Новосибирск: Изд. Инст.-та вычислительной математики и математической геофизики Сибирского отделения Российской академии наук, 2007, 371 с.
3. Булавин, В.Ф. Метод конечных элементов и выбор линейной базисной функции. Автоматизация и энергосбережение машиностроительного и металлургического производств, технология и надежность машин, приборов и оборудования: Материалы 8-й Международной научно-технической конференции. Вологда: ВоГТУ, 2013. –264 с.

Bulavin Vyacheslav Fedorovich, *Cand. Tech.Sci., associate professor*

(e-mail: bulavin35@mail.ru)

Vologda state University, Vologda, Russia

Yahrlichev Victor Vasilyevich, *senior lecturer*

(e-mail: yahrlichev@yandex.ru)

Vologda state University, Vologda, Russia

FINITE ELEMENT METHOD:

INNOVATIVE SOLUTIONS FOR THE STIFFNESS MATRIX

Abstract. The work investigated the building on the basis of balance equations of non-standard solutions of the stiffness matrix in the finite element method. The range of issues is restricted to stationary phenomena for scalar functions. Found an alternative solution for improving the properties of course–element equations.

Keywords: the finite element method, approximation, finite element, stiffness matrix, continuity.

УДК 621.8

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПРИЧИН АВАРИИ БАШЕННОГО КРАНА

Горелов Владимир Николаевич, *к.т.н., доцент каф. «Механика»*

(e-mail: gorelow67@mail.ru)

Самарский государственный технический университет,

г. Самара, Россия

В данной статье приводится пример расследования аварии башенного крана и определение причин разрушения металлоконструкции башины и стрелы.

Ключевые слова: Башенный кран, образцы, испытание, предел прочности.

На данный момент строительство жилых зданий и сооружений является одной из наиболее динамично развивающихся отраслей производства. В соответствии с Федеральным законом «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» № 116-ФЗ, объекты строительства,

где используются башенные краны, являются опасным производственным объектом, далее ОПО. Принятие поправок к данному закону и введение в действие Федеральных норм и правил "Правил безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения" с одной стороны должны были обеспечить безопасную эксплуатацию технических устройств на опасных производственных объектах, с другой стороны уменьшить количество проверок объектов строительства. В случае аварии эти нормативные документы определяют и порядок расследования аварий и несчастных случаев на строительных площадках, являющихся ОПО.

На примере одной из аварий в данной статье приводится последовательность действий проведения расследования. При строительстве жилого дома 14 декабря 2015 в 15.14 в Самаре произошла авария с башенным краном КБ-473. Точную дату и время подтвердили по показаниям регистратора параметров ОНК-160Б-85, которым был оснащен данный кран.

При подаче ящика с раствором на крышу строящегося здания произошел отрыв оттяжки стрелы, и падение ее на строящееся здание. После этого упала консоль с противовесом. В результате деформированы элементы металлоконструкции крана – башня, стрела, оголовок и консоль противовеса (рис.1).



Рисунок 1 - Разрушение башенного крана КБ-473

Для расследования причин данной аварии, на основании требований главы II, статьи 12, Федерального закона «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» № 116-ФЗ от 21.07.97г. [1], и п.18

«Порядка проведения технического расследования причин аварий, инцидентов и случаев утраты взрывчатых материалов промышленного назначения на объектах, поднадзорных Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору», утвержденного приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 19.08.2011г. № 480, было проведено обследование подъемного сооружения, после аварии.

На основании решения председателя комиссии по расследованию аварии, экспертной организацией ООО ИЦ «ЭДО» были проведены следующие мероприятия:

- произведен осмотр места аварии;
- проверено состояние металлических конструкций;
- проведена обработка информации с регистратора параметров;
- рассмотрена документация подъемного сооружения, представленная владельцем;
- рассмотрен технологический процесс, условия эксплуатации технического устройства;
- проверено соответствие технологического процесса проектным решениям;
- проверена квалификация промышленно-производственного персонала, поднадзорного Ростехнадзору;
- проверено наличие договора (полиса) обязательного страхования гражданской ответственности, заключенного в соответствии с законодательством Российской Федерации об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте;
- проверено качество эксплуатационной документации поднадзорного Ростехнадзору объекта.
- определены возможные технические причины аварии башенного крана КБ-473.

Обследование проводилось на соответствие требованиям Федеральных норм и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения", утвержденных приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору № 533 от 12.11.2013г.

Для определения внутренних силовых факторов, приведших к разрушению проушины оттяжки стрелы (рис.2), был произведен расчет НДС с применением метода конечных элементов.

Расчет выполнен в соответствии с методикой, изложенной в Справочнике по кранам под редакцией М.М. Гохберга Том 1 стр.85 [3].



Рисунок 2 - Проушина после разрушения

Расчет на прочность производился для оттяжки стрелы по нагрузкам от действия груза, подвешенного на крюк (бадья с бетоном 4 т.) и веса стрелы 10,35 т.

Вес груза и вылет был определен по данным расшифровки регистратора параметров ОНК-160Б [4] и уточнен после осмотра места аварии, а вес металлоконструкции по данным руководства по монтажу РБКС-8.180.00.00.000.ИМ крана башенного КБ-473. Данные регистратора параметров представлены на рис.3 и 4.

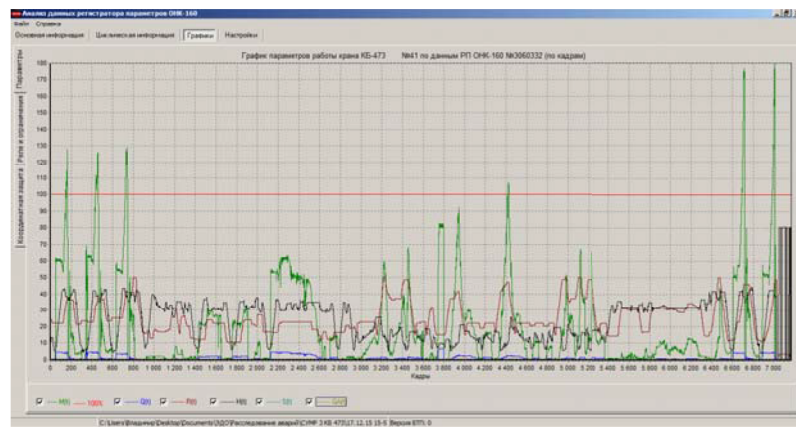


Рисунок 3 - Данные оперативной памяти ОНК-160Б

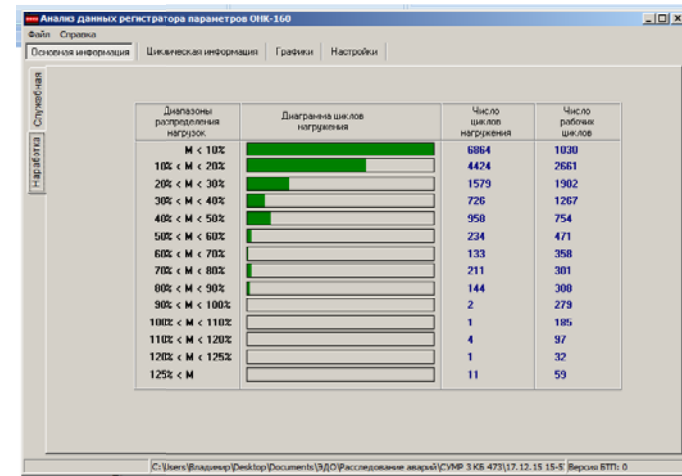


Рисунок 4 - Данные о числе циклов нагружения и рабочих циклах ОНК-160Б

Точки приложения нагрузок и плечи действия активных и внутренних усилий определены из чертежа (рис.5).

Исходные данные:

1. Вес ящика с раствором $Q=4$ т.
2. Плечо действия веса ящика (вылет) $l=47,4$ м.
3. Вес стрелы с канатом и крюковой подвеской $P=10,35$ т.
4. Плечо действия веса стрелы $f=20$ м.
5. Плечо действия внутренней растягивающей силы в оттяжке стрелы $h=9,038$ м.

Для определения внутренней растягивающей силы в оттяжке было составлено уравнение суммы моментов сил, действующих на стрелу относительно точки шарнирного крепления стрелы к башне.

Момент от действия нагружающих сил определяется:

$$M = Ql + Pf = 4 \cdot 47,4 + 10,35 \cdot 20 = 396,6 \text{ тм.}$$

Сила, действующая в оттяжке, составляет:

$$F = M/h = 396,6/9,038 = 43,88 \text{ т.}$$

Материал, из которого изготовлена оттяжка 09Г2С ($\sigma_r=310$ МПа), является пластичным, поэтому расчет производится по условию (метод допускаемых напряжений):

$$\sigma \leq [\sigma] = \sigma_r/n$$

$$n = 1,4 \text{ (Таблица 1.5.19 [3])}$$

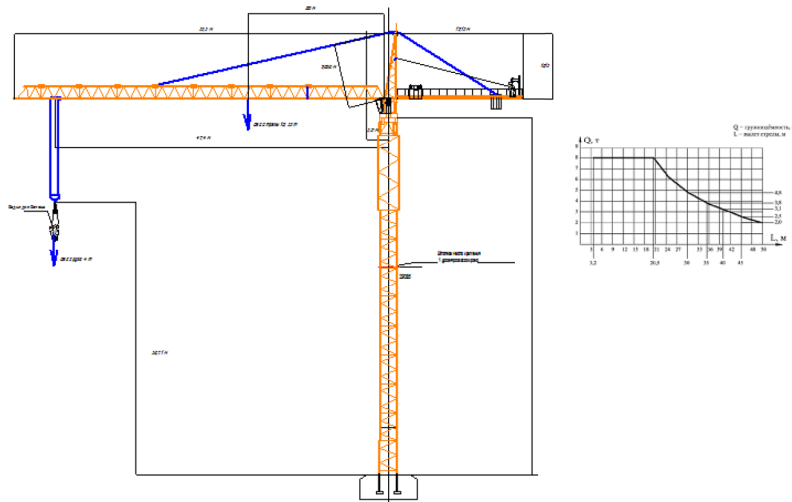


Рисунок 5 - Схема распределения сил башенного крана КБ-473

При моделировании нагружения проушины методом конечных элементов (рис. 6) видно, что в местах концентрации напряжений (максимальное эквивалентное напряжение по Мизесу) $\sigma=619,9$ МПа.

Для проверки механических характеристик материала из разрушенной проушины были вырезаны образцы.

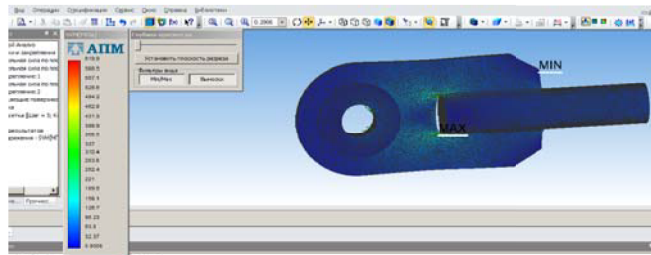


Рисунок 6 - Определение максимальных напряжений методом конечных элементов

Для определения предела текучести материала были проведены испытания образцов на растяжение. Испытания проводились на испытательной машине «Инстрон» (рис. 7). Размеры образцов соответствовали ГОСТ 1497-84.



Рисунок 7 - Испытательная машина «Инстрон»

Полученный по результатам испытаний предел прочности 526,57МПа и предел текучести (Условный 0,2 %) 337,82 МПа соответствует справочным данным для стали 09Г2С. График зависимости напряжения от деформации для двух образцов представлен на рис. 8.

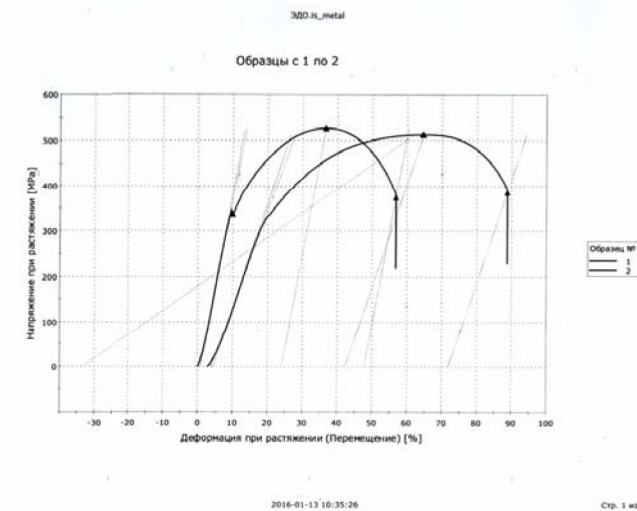


Рисунок 8 - График зависимости напряжения от деформации образцов из стали 09Г2С

Выводы по результатам проведенного расследования:

Причиной аварии (разрушение оттяжки стрелы) крана башенного, крюкового, стационарного, электрического, полноповоротного КБ-473 могли послужить повторяющиеся нагрузки, превышающие допустимые в 1,25...1,8 раза, которые привели к исчерпанию ресурса пластичности и прочности материала оттяжки вследствие накопления в металле значительной поврежденности.

При исправно работающем ограничителе грузоподъемности аварии бы не случилось.

В данной ситуации не произошло несчастного случая лишь по причине того, что машинист крана сначала подняла груз на определенную высоту, повернула стрелу в сторону подачи груза (стрела оказалась над крышей возведенного здания) и потом стала увеличивать вылет.

На основании изложенного напрашивается вывод, что участвовавшие аварии подъемных кранов (особенно башенных), возникают ввиду ослабления Российского законодательства в области промышленной безопасности. Отнесение опасных производственных объектов, на которых используются стационарно установленные грузоподъемные механизмы, к IV классу опасности делает контроль за ними со стороны Ростехнадзора неэффективным.

Список литературы

1. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» № 116-ФЗ. (ред. от 13.07.2015) – Документ предоставлен КонсультантПлюс www.consultant.ru.
2. Федеральных нормы и правил в области промышленной безопасности "Правила безопасности опасных производственных объектов, на которых используются подъемные сооружения". – Документ предоставлен КонсультантПлюс www.consultant.ru.
3. Справочник по кранам. Т1 под ред. М. М. Гохберг. М.: Машиностроение, 1988. — 536 с.
4. Горелов В.Н. Системы безопасности грузоподъемных машин. – Самара: Самар. гос. тех. ун-т, 2014. – 446с.

Gorelov Vladimir Nikolaevich

(e-mail: gorelow67@mail.ru)

Ph.D., associate professor of Department. "Mechanics" SamSTU.

EXPERIMENTAL RESEARCH IN DETERMINING THE CAUSES OF THE ACCIDENT OF TOWER CRANE

Abstract. *This article provides an example of investigation of the accident of tower crane and determines the reasons of destruction of metal structures of tower and arrow.*

Keywords: *Tower crane, samples, tests the tensile strength.*

УДК 621.95.01

**ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМПЛЕКСНЫХ СИСТЕМ
АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАТКИ НА ПРИМЕРЕ РАЗРАБОТКИ
ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СТУПЕНЧАТЫХ ОТВЕРСТИЙ**

Гречишников Владимир Андреевич, доктор технических наук, профессор (e-mail: ittf@gmail.com)

Тарасов Андрей Викторович, доцент (e-mail: ittf@gmail.com)

Ганьшин Владимир Константинович, аспирант

(e-mail: ittf@gmail.com), г. Москва, Россия

Живодров Олег Германович, аспирант

(e-mail: ittf@gmail.com)

Московский государственный технологический университет "Станкин", г. Москва, Россия

В данной статье рассматриваются особенности и преимущества комплексных систем автоматизированного проектирования при разработке инструмента для обработки ступенчатых отверстий.

Ключевые слова: *осевой инструмент, многоступенчатые отверстия, комплексный подход, проектирование.*

В настоящее время в мире возрастает роль компьютерной подготовки производства (КПП), основанной на современных системах автоматизированного проектирования (САПР), на специализированных компьютерных базах знаний, на высокоточном оборудовании с ЧПУ и при участии высококвалифицированных специалистов. Это связано с тем, что такая КПП позволяет резко сократить временные и материальные затраты, повысить производительность труда и обеспечить качество производимых изделий. В результате существенно возрастают конкурентные возможности предприятия на внутреннем и международном рынке.

В организации производства явно наблюдается переход от технологий, основанных на интенсивном индивидуальном труде по созданию изделий, удовлетворяющих специфическим требованиям одного конкретного применения, к технологиям, основанным на планируемых капиталовложениях в разработку повторно-используемых компонент. Это позволяет достаточно успешно организовывать производство «под заказ» стандартизованных изделий в предметной области на основе унифицированных прототипов. В машиностроении наиболее явно этот переход проявляется в процессе проектирования и изготовления технологической оснастки (ТО), в частности режущего инструмента (Рис.1)[1].