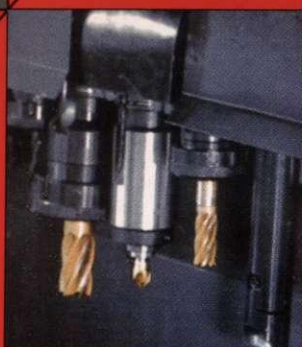


ISSN 1684-2561

РВМ

РЕМОНТ ВОССТАНОВЛЕНИЕ МОДЕРНИЗАЦИЯ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ,
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ



3
2020



● ПРАКТИКА РЕМОНТА, ВОССТАНОВЛЕНИЯ И МОДЕРНИЗАЦИИ

Кременский И.Г. Место пластического деформирования в технологии восстановления деталей	3
Овтов В.А., Барабанов А.С. Модернизация луковой сажалки щеточным заделывающим устройством	8
Исаев С.П., Еренков О.Ю. Совершенствование технологии стенового материала малоэтажного домостроения	12

● ДИАГНОСТИКА И ПРИЧИНЫ ПОВРЕЖДЕНИЙ

Карташова В.В., Косенко Е.А. Контроль качества полимерных покрытий для рабочего оборудования дорожных машин	16
--	----

● ОБЩИЕ И НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

Кононенко А.С., Соловьева А.А. Повышение стойкости полимерных анаэробных составов для восстановления подшипниковых узлов к процессам старения и вибрационным нагрузкам.	20
Скрябин В.А. Прочностной анализ металлоконструкций при ремонте грузоподъемных кранов с использованием программного продукта Solid Works	24
Друзьянова В.П., Татарникова П.А. Внедрение глобальной навигационной спутниковой системы «ГЛОНАСС» на автомобильном транспорте Республики Саха (Якутия): проблемы и перспективы	30
Кравченко И.Н., Пастухов А.Г., Чеха Т.А., Шамарин Ю.А. Ресурсосберегающая технология восстановления изношенных деталей пневматических сеялок	35
Кацадзе В.А., Бирман А.Р., Свойкин Ф.В., Свойкин В.Ф., Угрюмов С.А. Сравнение производительности систем лесосечных машин	40
Тихонов Е.А., Григорьев И.В., Куницкая О.А. Силовая параметризация кривошипно-ползунной группы «Альфа-Стирлинга»	45

Прочностной анализ металлоконструкций при ремонте грузоподъемных кранов с использованием программного продукта Solid Works

В.А. СКРЯБИН, д-р техн. наук, профессор

Пензенский государственный университет, г. Пенза, 440026, РФ

E-mail: vs_51@list.ru

DOI: 10.31044/1684-2561-2020-0-3-24-29

Поступила в редакцию 03.04.2019

После доработки 12.11.2019

Принята к публикации 18.11.2019

В общем виде описана проблема эксплуатации грузоподъемных кранов, дан краткий анализ современных систем автоматизированного проектирования, поставлена задача и выделены проблемы, решение которых является целью данной статьи. Выполнен анализ напряженного состояния с учетом фактического состояния (наличие дефектов, ремонтных накладок и т.п.) на примере мостового и портального кранов, приведены выводы и перспективы использования изложенного материала.

Ключевые слова: мостовой кран, металлоконструкция, пространственная модель, метод конечных элементов, Solid Works, долговечность.

The problem of hoisting crane operation is briefly discussed, a short analysis of modern computer-aided design systems is presented, main problems are determined. The analysis of the stressed state has been carried out, taking into account a real state (presence of defects, repair tuning, etc.) with examples of a bridge crane and a portal crane. Conclusions and use prospects of the presented data are discussed.

Keywords: bridge crane, metal construction, spatial model, finite element method, Solid Works, durability.

На сегодняшний день более 60% кранов работают свой нормативный ресурс. Обновление кранового парка практически не осуществляется, и с каждым годом количество эксплуатируемых кранов с истекшим нормативным сроком службы увеличивается. Доминирующими причинами аварий можно считать нарушения условий их комплексного диагностирования, ремонта, технического обслуживания и эксплуатации. К сожалению, в условиях, которые сложились с парком грузоподъемных кранов после реструктуризации предприятий и организаций, уровень диагностирования и ремонта невысок. Не всегда вовремя производится ремонт крановых узлов, деталей и металлоконструкций. Риск аварийности среди этих кранов в процессе эксплуатации весьма велик. Совершенствование методов расчета крановых металлоконструкций — важная научно-техническая задача, решение которой позволит повысить безопасность эксплуатации грузоподъемных кранов, а также их на-

дежность [1, 2]. Современным направлением при проектировании и анализе напряженно-деформированного состояния металлоконструкций грузоподъемных кранов, корпусных деталей и элементов передач является использование систем автоматизированного проектирования (САПР), метода конечных элементов (МКЭ), методов вычислительного эксперимента и имитационного моделирования нагруженности. Поэтому весьма важным вопросом является разработка уточненного метода анализа напряженно-деформированного состояния металлоконструкций кранов. В процессе эксплуатации кранового оборудования выявляются неоднократные случаи образования трещин в основном металле, разрывов сварных швов в местах крепления ребер жесткости. Ремонт дефектных участков не всегда дает эффективные результаты, трещины появляются вновь. Изучение технической документации позволило выявить, что в некоторых случаях напряженно-деформированное состо-

яние элементов металлоконструкции при проектировании определялось не точно, приближенным методом. При ремонте использование стандартных инженерных методик расчета металлоконструкции не всегда является возможным из-за наличия тех или иных ограничивающих факторов, особенностей конструкции, состояния металлоконструкции. В связи с этим и возникает необходимость создания решения, которое будет подходящим именно для конкретной сложившейся ситуации. Для перехода от идеи предложенного решения, результатом которой является эскиз будущего измененного узла, к созданию чертежей конструктору необходимо определиться с необходимостью усиления элементов существующей конструкции, произвести расчет усиления и, при необходимости, новых узлов, выполнить проверочные расчеты для реконструированной машины в целом (устойчивость, прочность, усталость и т.д.). На следующем этапе информация о результатах расчета (типы и места выполнения усиления, толщины металла, форма элементов и т.д.) передается для создания чертежной проектной документации. Таким образом, вышеописанные действия являются базовыми при выполнении ремонта, модернизации, реконструкции подъемно-транспортной техники. Традиционные расчеты на прочность крановых металлоконструкций основаны на предположении плоской схемы их работы, тогда как их элементы работают как пространственные системы. Например, расчет моста крана с двумя пролетными балками листовой конструкции обычно заключается в расчете отдельных балок с приложенными расчетными нагрузками. Таким же образом рассчитываются и ферменные конструкции кранов. Данный подход традиционно обусловлен тем, что методы расчета развивались, опираясь на ручной способ вычисления с применением простых счетных устройств и приспособлений. В сложных случаях трудно оценить точность таких расчетов без экспериментальной проверки на моделях и изделиях. В настоящее время в связи с развитием вычислительной техники, в том числе в связи с разработкой специальных программ для расчета пространственных конструкций, постепенно исчезает необходимость в разбивке на плоские элементы и вообще в расчете

изолированных крупных узлов металлоконструкций. Практически все современные расчеты на прочность проводят, используя метод конечных элементов. Компьютеры позволяют выполнять такие расчеты при помощи приближенных численных методов. Метод конечных элементов является одним из них. В последние десятилетия он занял ведущее положение и получил широкое применение. Для определения фактического напряженно-деформированного состояния металлоконструкции и последующего усиления предложен уточненный метод расчета несущих металлоконструкций мостовых кранов и башенных колонн порталных кранов. Вначале разрабатывается расчетная схема с учетом действующих нагрузок и их сочетаний. Затем, с использованием САПР, разрабатывается компьютерная пространственная твердотельно-деформируемая модель. Последовательность построения трехмерной модели может быть разной. Например, сначала строится 3D-вид, а затем автоматически генерируются 2D-виды. Некоторые системы способны преобразовывать сборочные чертежи механизма ортогональной проекции в 3D-вид этого изделия в разобранном состоянии. В некоторых системах 3D имеются средства автоматического анализа физических характеристик, таких как: вес, моменты инерции и средства решения геометрических проблем сложных сопряжений и интерпретации. Поскольку в 3D-системах существует автоматическая связь между данными различных геометрических видов изображения, 3D-моделирование полезно в тех приложениях, где требуется многократное редактирование 3D. Solid Works — мощное средство проектирования, базирующееся на передовых технологиях гибридного параметрического моделирования. Концептуальные идеи, положенные разработчиками в основу Solid Works, и такие качества, как: высокая производительность и надежность, интуитивно понятный интерфейс, русификация и поддержка ЕСКД — определяют успех внедрения Solid Works на промышленных предприятиях. В данной статье уточненный метод анализа напряженно-деформированного состояния металлоконструкции предлагается выполнять с использованием возможностей Solid Works на примере порталного и мостового кранов.

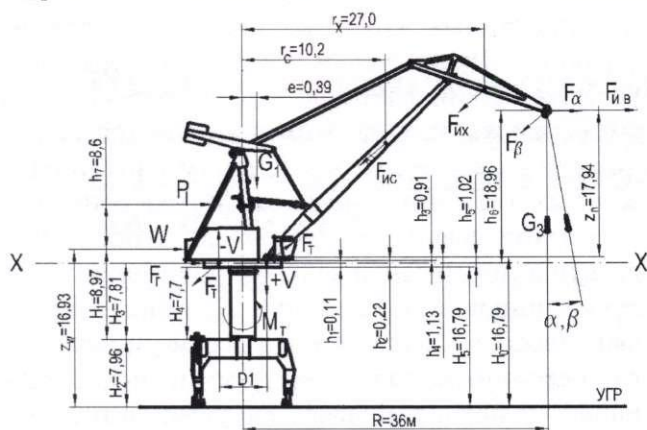


Рис. 1. Расчетная схема портального крана

Для определения фактического напряженно-деформированного состояния колонны и, в последующем, усиления был предложен уточненный метод расчета башенных колонн порталных кранов. В начале разрабатывается расчетная схема (рис. 1) с учетом действующих нагрузок и их сочетаний [1, табл. 6.1].

Для этого все внешние нагрузки, действующие на кран, преобразовывают и приводят к нагрузкам, равнозначным по воздействию на элементы конструкции колонны. Эти нагрузки можно разделить на три вида [1].

1. Нагрузки, действующие в вертикальной плоскости и воздействующие на колонну через тела качения поворотного устройства. Все вертикальные нагрузки на тела качения распределяются неравномерно (рис. 2).

2. Нагрузки, действующие в плоскости качения стрелы и вызывающие изгиб колонны в этой плоскости. Такими нагрузками являются (см. рис. 1):

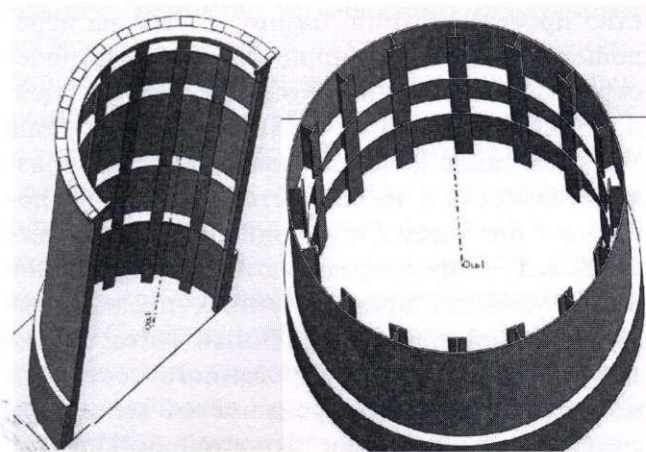


Рис. 2. Модель колонны

горизонтальная сила от отклонения канатов:

$$F_{\alpha} = G_3 \operatorname{tg} \alpha, \quad (1)$$

где G_3 — вес груза; α — угол между направлениями сил;

сила инерции стреловой системы при изменении вылета стрелы:

$$F_{\text{IB}} = \frac{m_{\text{c}} V}{t}, \quad (2)$$

где m_c — приведенная к блокам хобота масса стреловой системы; V — мгновенная скорость оголовка хобота; t — время разгона (торможения) механизма изменения вылета;

горизонтальная сила давления ветра.

Действие этих нагрузок приведено к горизонтальной равнодействующей силе P_1 (см. рис. 1), вызывающей изгиб колонны в плоскости качания стрелы.

3. Нагрузки, действующие в горизонтальной плоскости и вызывающие кручение колонны вокруг ее вертикальной оси. Кручение колонны вокруг ее вертикальной оси вызывается окружными силами торможения F_T (см. рис. 1) при торможении двух механизмов вращения колонны. Затем разрабатывается компьютерная твердотельно-деформируемая модель колонны (рис. 2). Геометрические параметры модели (геометрическое подобие) полностью соответствуют натурному образцу колонны. Вариант нагружения крана и комбинации нагрузок (рис. 3) принимаются в соответствии с нормами расчета металлоконструкций порталных кранов [2]. Для каждого режима на-

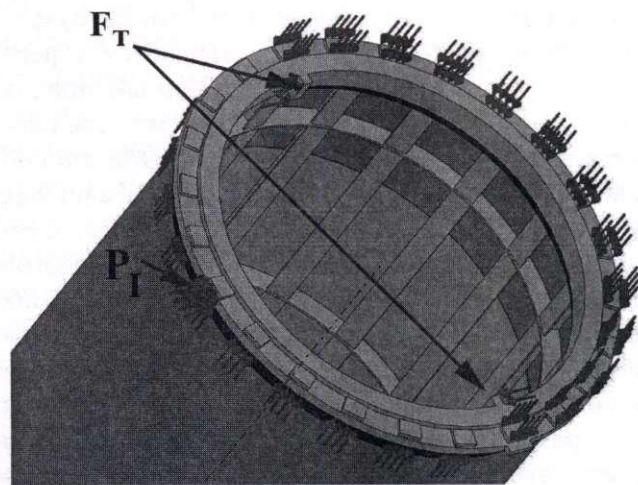


Рис. 3. Участки приложения сил к модели

гружения крана (подъем груза; подъем груза и поворот; подъем груза, поворот и изменение вылета и т.д.) и соответствующих значений действующих нагрузок определяется напряженно-деформированное состояние колонны с использованием Solid Works [3].

Результаты исследования каждого варианта нагружения выдаются в виде:

- эпюр распределения коэффициента запаса прочности (рис. 4);
- эпюр эквивалентных напряжений в цилиндрической оболочке колонны (рис. 5), в скрытых участках (элементы оребрения) колонны и в кольцевых диафрагмах (рис. 6).

Для определения фактического напряженно-деформированного состояния металлоконструкции мостового крана последовательность действий аналогична, как и для колонны portalного крана [3–8]. Разрабатывается расчетная схема и модель (рис. 7). При моделировании нагружения металлоконструкции крана нагрузка прикладывалась к тележке, кран опирался на рельсовый путь, закрепление осуществлялось за основания колонн. С использованием инструментов Solid Works построены эпюры распределения коэффициента запаса прочности (рис. 8) и распределения напряжений в модели (рис. 9). Также для более детального анализа нагруженного состояния отдельных участков металлоконструкций крана рассмотрены сечения, на которых можно проследить распределение напряжений в скрытых участках металлоконструкции крана: внутренние полости коробчатых балок, ребра жесткости. При моделировании нагружения металлоконструкции крана нагрузка прикладывалась к тележке, кран опирался на рельсовый путь, закрепление осуществлялось за основания колонн. При проведении анализа повреждений металлоконструкции крана большое внимание уделялось наиболее нагруженным участкам и участкам, имеющим минимальные коэффициенты запаса прочности по результатам моделирования,

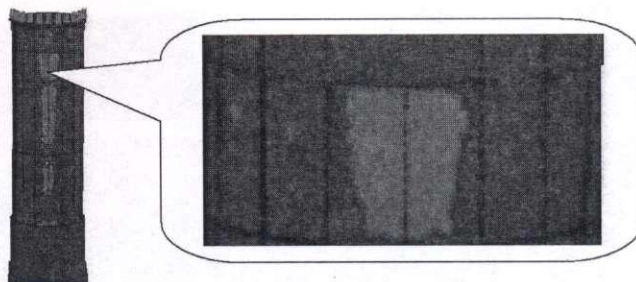


Рис. 4. Эпюра распределения коэффициента запаса прочности

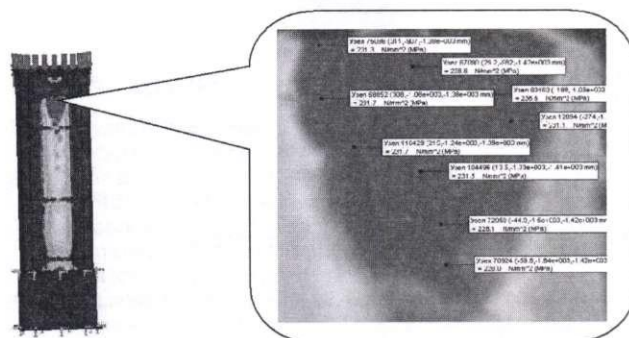


Рис. 5. Эпюра распределения эквивалентных напряжений

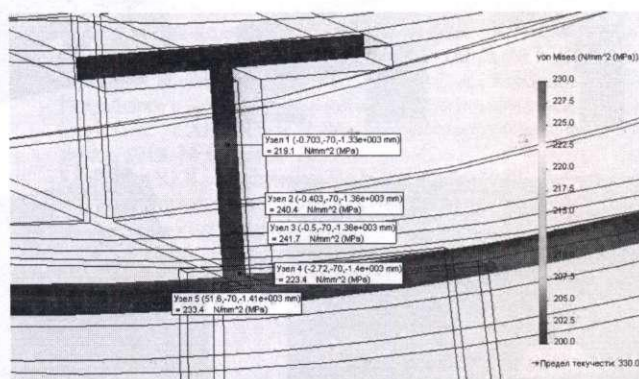


Рис. 6. Эпюра распределения эквивалентных напряжений в скрытых участках

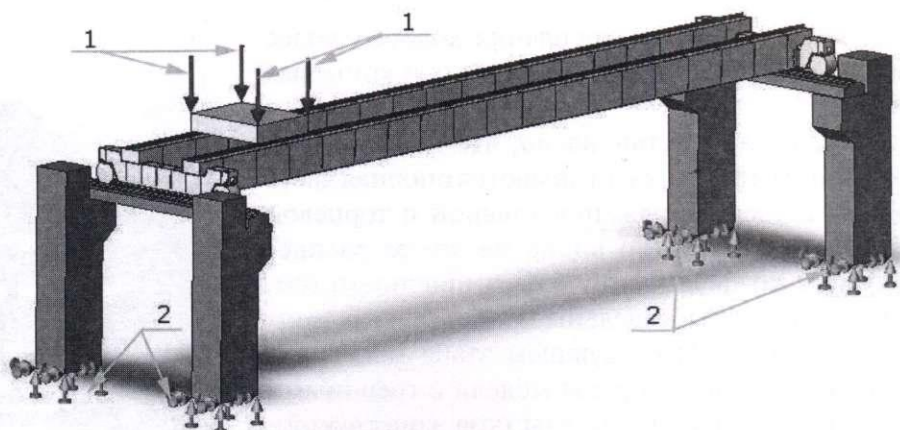


Рис. 7. Модель мостового крана:

1 — места приложения нагрузки; 2 — места закрепления

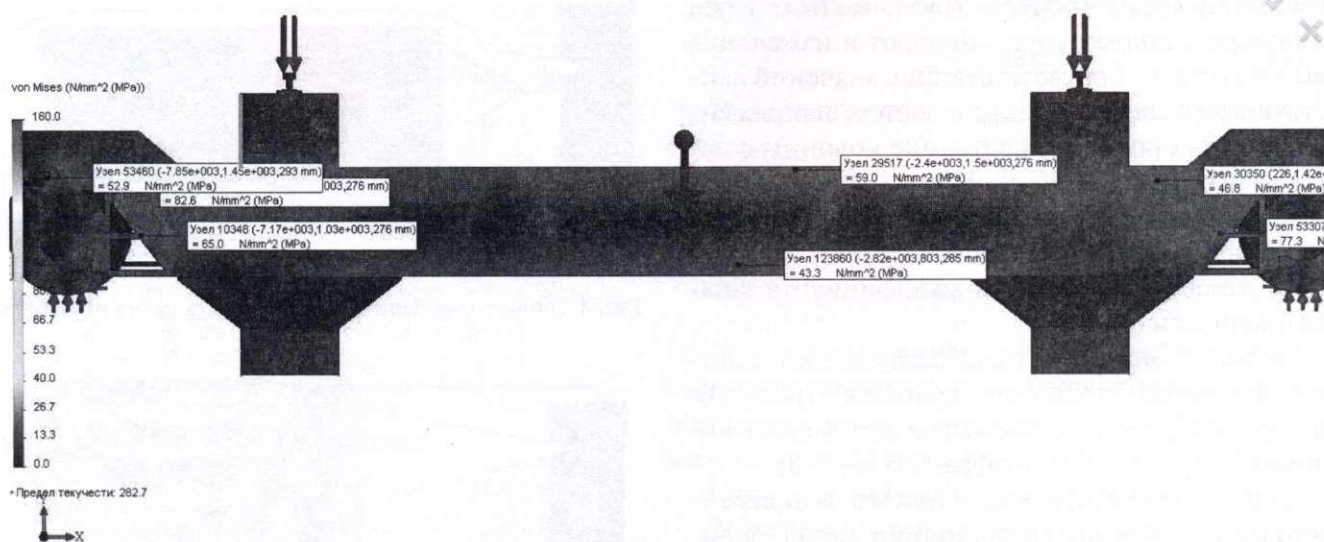


Рис. 9. Определение напряжений в модели

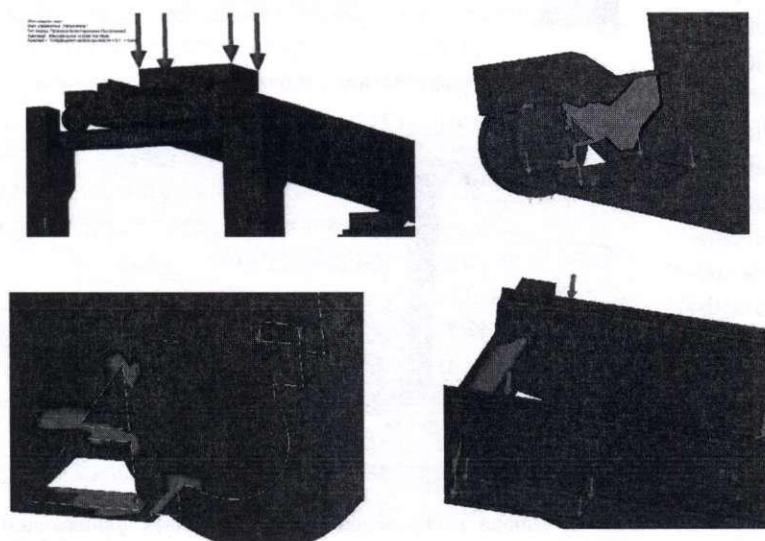


Рис. 8. Распределение значений коэффициента запаса прочности в модели

а именно — местам крепления ходовых колес крана, местам соединения главных и концевых балок.

В результате установлено, что наиболее нагруженными участками являются опорная часть крана и узел сопряжения главной и торцевой балок. Это наглядно видно на эпюре распределения коэффициента запаса прочности (см. рис. 8): светлым выделены наиболее нагруженные участки. На следующем этапе моделирования были рассмотрены модели с трещинами в стенках характерных участков конструкции и определены напряжения с их учетом (рис. 10). Установлено, что наличие трещин привело

к увеличению напряжений в опорной части крана с 77 до 745 МПа. Значения напряжений в других точках также увеличились (см. рис. 10).

В местах образования трещин на кране выполнена установка ремонтных накладок, которая также была смоделирована с последующим определением напряжений. Построенные эпюры (рис. 11) позволяют утверждать, что после установки накладок значения напряжений уменьшились как со стороны трещин (внешняя сторона торцевой балки), так и с внутренней стороны. Например, у узла 9145 напряжения уменьшились со 101,7 до 64,8 МПа.

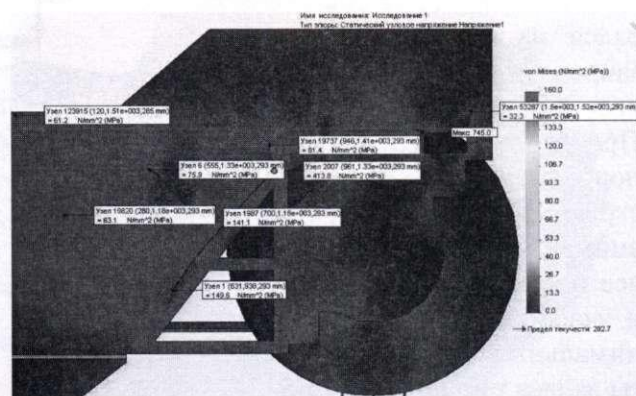
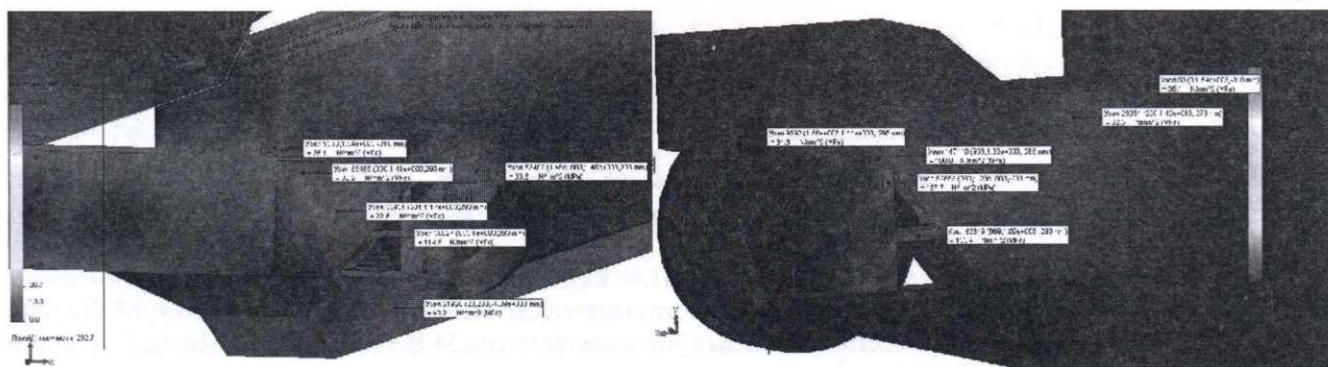


Рис. 10. Напряжения в модели после «появления» трещин



Выводы

3. С использованием моделей выполнен анализ напряженного состояния металлоконструкции крана в опасных сечениях до и после установки ремонтных накладок. Предложенный метод может быть использован при расчетах башенных цилиндрических колонн, металлоконструкции мостовых кранов других машин и сооружений.

1. Петухов П.З., Ксюнин Г.П., Серлин Л.Г. Специальные краны. М.: Машиностроение. 1985. 248 с.
2. Брауде В.И., Гохберг М.М., Звягин И.Е. Справочник по кранам: В 2 т. Т. 1. М.: Машиностроение. 1988. 536 с.
3. Алямовский А.А., Собчак А.А., Одинцов Е.В. Solid Works — Компьютерное моделирование в инженерной практике. СПб.: БВХ-Петербург. 2005. 800 с.
4. Скиртладзе А.Г., Скрябин В.А., Борискин В.П. Ремонт подъемных кранов. Старый Оскол: Тонкие наукоемкие технологии. 2007. 264 с.
5. Александров М.П. Грузоподъемные машины. М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана. 2000. 552 с.
6. Скрябин В.А. Испытания технологического оборудования для изготовления колесных пар железнодорожного транспорта // Ремонт, восстановление, модернизация. 2018. № 8. С. 4—10.
7. Пронин А.И., Мыльников В.В., Валько Д.А., Кондрашкин О.Б. Разработка и исследование конструкции детали с использованием CAD/CAE систем // Ремонт, восстановление, модернизация. 2018. № 6. С. 13—16.
8. Колотилов Ю.В., Максименко Ю.А., Алексанян И.Ю., Дорохов А.Ф. Прогнозирование состояния строительной конструкции в условиях реализации характерных предельных состояний // Ремонт, восстановление, модернизация. 2018. № 8. С. 38—41.