



Д.т.н., профессор
А.А. Короткий
(НГТУ, г. Новочеркасск)

Управление промышленной безопасностью подъемных сооружений (методологические основы)

А.А. Короткий

В настоящее время Федеральной службе по экологическому, технологическому и атомному надзору (Ростехнадзору) подконтрольно более 300 тысяч единиц подъемных сооружений, относящихся, согласно Федеральному закону № 116 ФЗ «О промышленной безопасности опасных производственных объектов», к опасным производственным объектам. При этом на протяжении ряда лет аварийность и травматизм при их эксплуатации остаются одними из самых высоких среди других опасных производственных объектов, причем с 1998 года имеется устойчивая тенденция к росту травматизма при одновременном уменьшении их парка.

В среднем в течение года на подъемных сооружениях сохраняются стабильные статистические данные: более 850 аварий и более 100 человек получают производственные травмы со смертельным исходом.

Средний срок службы подъемных сооружений составляет более 28 лет, что в 2 раза больше нормативного.

Технические реальности продления срока эксплуатации крана после наработки нормативного срока службы обусловлены весьма большими разбросами их ресурсов, а также тем обстоятельством, что металлоконструкции кранов, как известно, являются ремонтпригодными с восстанавливаемым ресурсом. Разбросы долговечности элементов и узлов «старых» кранов, определяющие ресурс по критерию усталости, значительно больше, чем указано в их технической документации, т.к. на долговечность конструкции оказывают влияние разнообразие методов конструирования, применяемые заводские технологии, загрузки конструкции в эксплуатации, другие особенности эксплуатации и технического обслуживания. Именно это позволяло вполне реально надеяться, что при наработке практически любого срока службы с той или иной вероятностью найдется работоспособный кран.

Прежде всего, необходимо разобраться, что понимается под нормативным сроком службы?

Нормативный срок службы изначально является экономическим понятием и подразумевает время, в течение которого амортизируется стоимость машины. Нормативный срок службы ранее в расчетах «старых» грузоподъемных кранов, по крайней мере с точки зрения ресурса, не учитывался.

При разработке нормативных документов, регламентирующих экспертные обследования кранов, произошла подмена понятия. Нормативный срок службы крана стали воспринимать как меру ресурса. Таким образом, это понятие кардинально изменилось. Из экономической категории нормативный срок превратился в категорию техническую. Но, несмотря на это, каких-либо изменений в эксплуатационных документах кранов сделано не было. По-прежнему их назначали произвольно и не учитывали при проектировании кранов. Вместе с тем нормативные сроки стали играть в процессе эксплуатации крана весьма важную роль.

В последующих нормативных документах по экспертному обследованию с целью повышения качества работ после исчерпания нормативного срока службы стали требовать определять остаточный ресурс металлической конструкции как один из критериев возможности продления эксплуатации крана. Это же положение закреплено и в постановлении Правительства Российской Федерации от 28 марта 2001 г. № 241 «О мерах по обеспечению промышленной безопасности опасных производственных объектов на территории Российской Федерации».

Следует отметить, что оценка остаточного ресурса не имеет самостоятельного значения. Эту работу целесообразно рассматривать как часть экспертного обследования специального вида, которое должно проводиться после исчерпания нормативного срока службы и не только давать ответ на вопрос, можно ли эксплуатировать кран далее, но также выработать регламент этой эксплуатации, а также оценить остаточную стоимость подъемного сооружения.

С формальной точки зрения оценка остаточного ресурса – это процедура определения времени (наработки), в течение которого, с определенной вероятностью, техническое состояние крана (металлоконструкции) не достигнет одного из предельных состояний. Предельные состояния металлоконструкций грузоподъемных кранов условно можно разделить на четыре группы, обусловленные:

- статической прочностью (длительная прочность, хрупкое разрушение, потеря устойчивости формы);
- усталостной прочностью (малоцикловая и многоцикловая);
- деформативностью (местная, общая);
- трещиностойкостью.

Для оценки остаточного ресурса можно использовать экспертные, расчетные и экспериментальные методы, основанные на:

- статистической теории надежности, оценивающей конструкцию на основе статистической обработки данных об отказах и о ресурсах ее аналогов;
- фактическом техническом состоянии с использованием текущей оценки поврежденности материала опасных зон (конструктивных узлов) неразрушающими методами контроля;
- сопоставление перемещений, полученных на эталонной математической модели с замеряемыми перемещениями в наиболее чувствительных точках конструкции на натурной конструкции при эксплуатации.

Во всех случаях необходимо учитывать развивающиеся под действием циклических нагрузжений деградационные процессы (квазистатические изменения, коррозия, усталость и пр.), а также, если эксплуатация объекта происходит в особых условиях (температура, радиация и т. д.), процессы, приводящие к изменению свойств материала.

Экспертное обследование (ЭО) – задача более комплексная, включающая:

- экспертную, расчетную или экспериментальную оценку остаточного ресурса узлов, механизмов и металлической конструкции;
- экспериментальную проверку прочности несущих металлических конструкций;
- диагностирование (инструментальный контроль) элементов первой группы, разрушение которых приводит к аварии;
- принятие решения о продлении (запрещении) эксплуатации с указанием срока проведения следующего ЭО;
- разработку регламента технических освидетельствований, экспертных обследований и технических обслуживаний крана на разрешенный дополнительный срок эксплуатации;
- оценку фактической стоимости подъемно-

го сооружения с учетом фактического технического состояния (для определения величины амортизационных отчислений).

Как следует из вышесказанного, экспертное обследование является комплексной работой, включающей диагностирование, прогнозирование (оценку остаточного ресурса), и в целом предшествует капитальному ремонту или реконструкции с целью продления срока службы и восстановления ресурса крана.

Учитывая, что проблема продления срока службы технических устройств переросла из частной в государственную и охватила все отрасли промышленности, в Федеральном Законе «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (статья 13 «Экспертиза промышленной безопасности») это положение стало правовой нормой деятельности экспертных организаций. Работа по экспертизе промышленной безопасности в настоящее время сформировалась в Единую систему оценки соответствия, функционирование которой определяется «Правилами проведения экспертизы промышленной безопасности» (ПБ 03-246-98).

1. Экономическая проблема промышленной безопасности подъемных сооружений. С точки зрения экономической категории экспертное обследование направлено на повышение технико-экономических показателей крана, а именно на увеличение срока полезного использования (срока службы).

Идея экспертизы заключается в том, что кран, отработавший нормативный срок службы, подвергается обследованию квалифицированными специалистами с целью возможности (или невозможности) его дальнейшей безопасной эксплуатации.

Фактически крану продлевается срок службы на определенный период, в то же время балансовая стоимость крана не изменяется. Такое положение приводит к нарушению основополагающего закона о прибавочной стоимости, согласно которому стоимость оборудования (крана) включается в стоимость выпускаемой продукции в виде амортизационных отчислений. Поэтому в процессе проведения экспертизы крана возникает необходимость оценки текущей (фактической) стоимости крана с учетом его фактического состояния, необходимой для определения амортизационных отчислений.

Оценка текущей (фактической) стоимости грузоподъемных кранов, отработавших нормативный срок службы, представляет собой одну из множества возможных экспертиз, в ходе которых определяются те или иные экономические показатели.

Основой определения всех стоимостных параметров крана служат его натурально-веще-

ственные характеристики и происходящие с ним изменения в процессе жизненного цикла. Общей характеристикой процесса изменений является износ крана. Для определения степени утраты краном его характеристик используются два понятия – «физический износ» и «моральный износ».

Количественное значение физического износа крана определяется с учетом технического состояния его конструктивных элементов. Конечной характеристикой физического износа является степень уменьшения первоначальной несущей способности, состав элементов, по которым определяется величина физического износа.

Для кранов с истекшим сроком службы оценка стоимости может производиться на основе определения стоимости капитально-восстановительного ремонта и ремонта полнокомплектного, в том числе затрат на экспертные работы.

При проведении экспертного обследования определяется возможность и сроки дальнейшей безопасной эксплуатации крана, т. е. остаточный ресурс. По результатам обследования устанавливается необходимость проведения ремонта или реконструкции крана. Стоимость экспертного обследования – это средства владельца крана на оплату услуг экспертной организации – и средства, затраченные на ремонт крана, должны быть включены в стоимость крана. Иными словами, эти средства и будут составлять фактические затраты на восстановление крана.

Такое рассуждение технико-экономическими категориями должно, по сути, позволить пересмотреть сложившийся взгляд на «старые» краны. Следовательно, экспертные обследования с оценкой фактического технического состояния крана, с технической точки зрения, позволяют продлить время эксплуатации (с учетом модернизации или реконструкции) и внести изменения в паспорт (продлить срок службы), а с экономической – увеличить первоначальную стоимость амортизируемого оборудования.

2. Страхование ответственности при эксплуатации и экспертизе подъемных сооружений. Страхование является одним из элементов управления промышленной безопасностью и, на наш взгляд, наиболее действенным инструментом, т.к. относится к экономическим законам регулирования рыночных отношений. Федеральный Закон «О промышленной безопасности опасных производственных объектов» (статья 13 «Страхование») обязует владельцев страховать ответственность перед третьими лицами при эксплуатации опасных производственных объектов.

Признанным инструментом обеспечения финансовых гарантий со стороны экспертной организации в случае наступления ее гражданской ответственности при осуществлении деятельно-

сти в области экспертизы промышленной безопасности является страхование ответственности. В целях защиты имущественных интересов как заказчиков работ, так и экспертных организаций, установления атмосферы доверия на рынке экспертных услуг, в Единой системе оценки соответствия промышленной безопасности введено добровольное страхование гражданской ответственности экспертных организаций, которое представляет собой надежную систему страховой защиты от риска непреднамеренной ошибки при проведении экспертизы промышленной безопасности и произошедшей вследствие этого аварии на опасном производственном объекте.

Объектом страхования в данном случае являются имущественные интересы экспертной организации, связанные с обязанностью возместить вред, причиненный жизни, здоровью или имуществу третьих лиц вследствие ошибки при проведении экспертизы промышленной безопасности, в порядке, установленном гражданским законодательством.

По результатам исследований, выполненных под руководством А.А. Короткого, в руководящем документе РД 10-112-96 «Методические указания по обследованию грузоподъемных машин с истекшим сроком службы. Часть 1. Общие положения» в 1996 году впервые был применен экономический механизм управления промышленной безопасностью, предусматривающий страхование ответственности организаций, проводящих обследование грузоподъемных кранов, перед владельцами, на случай возникновения аварии в прогнозируемый период времени.

3. Методология оценки риска эксплуатации подъемных сооружений. В 1997 году проф. А.А. Коротким была подготовлена и защищена докторская диссертация по методологическим основам оценки, прогнозирования и управления промышленной безопасностью подъемных сооружений, в которой он обобщил работы по экспертизе подъемных сооружений. В диссертационной работе на основании статистических данных установлены допустимые значения рисков для элементов первой группы, разрушение которых приводит к аварии, и получено для них условие безопасности, учитывающее вероятностный характер их нагруженности, несущей способности и риска, а также динамику изменения этих параметров при деградации объекта в процессе длительной эксплуатации. В частности, на грузоподъемных кранах нагрузки в элементах первой группы по аварийности могут превышать их несущую способность в пределах запаса прочности при условии, что фактическая величина эксплуатационного риска при этом не превысит допустимого значения, установленного статисти-

чески для данного объекта.

Для подъемных сооружений, находящихся длительное время в эксплуатации, наблюдается деградация несущей способности, т.е. ее снижение. Несущая способность в вероятностной постановке представляется индивидуально для конкретного объекта кривой распределения.

Совмещенные кривые плотностей распределения фактических усилий N в элементах первой группы и несущей способности S , описанных моделью «нагрузка-прочность» представлены на рис. 1.

Стрелками и пунктирными линиями на рис. 1 показан характер

изменения во времени указанных величин для объектов с истекшим сроком службы. Заштрихованная площадь, в границах которой нарушается условие безопасности, соответствует возможным значениям рисков. Исходя из вышеизложенного, условие безопасности для элементов первой группы принимает следующий вид:

$$N > S \text{ при } R [R].$$

Значения величин N и S , попадающие на кривые, расположенные ниже допустимого риска, создают «зону относительной опасности» – эксплуатация возможна с ограничениями. Значения усилий и несущей способности, попавшие в границы «зоны повышенной опасности», требуют немедленной остановки объекта.

Доказана необходимость выполнения расчетов подъемных сооружений по условию безопасности на этапах проектирования, изготовления и эксплуатации, в том числе для грузоподъемных кранов, отработавших нормативный срок службы.

4. *Оценка риска эксплуатации мостовых кранов в производственных цехах.* Наглядным примером расчета безопасности с учетом риска эксплуатации подъемного сооружения является работа грузоподъемного крана, перемещающегося по рельсовым путям, установленным на несущих конструкциях зданий и сооружений. Этой проблеме посвящена кандидатская диссертация В.С. Котельникова (1998 г.). Безопасность эксплуатации такой системы определяется условием, при котором реакция взаимодействия N в месте контакта колеса с рельсом не должна превосхо-

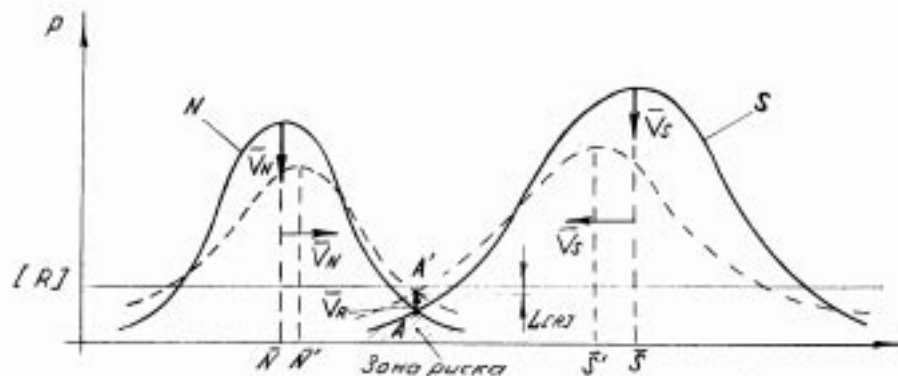


Рис. 1. Кривые плотности вероятности распределения фактических усилий N и несущей способности S в элементах первой группы подъемных сооружений, представленных моделью «нагрузка-прочность»

$L[R]$ – расстояние до предельного значения риска $[R]$; V_R – скорость изменения расчетного риска в процессе эксплуатации; V_N – скорость изменения нагруженности объекта за счет деградации; V_S – скорость изменения несущей способности объекта за счет деградации; N, S – математическое ожидание, соответственно, нагруженности N и несущей способности S ; N', S' – математическое ожидание, соответственно, нагруженности N и несущей способности S с учетом деградации; $[R]$ – допустимый риск

дить допустимых значений $[N]$, оговоренных нормативно-техническими документами.

На основании анализа возможных вариантов выполнения условия безопасности предложены варианты оценки безопасности подъемных сооружений для принятия решения о возможности или запрещении эксплуатации (табл. 1).

5. *Оценка нагруженности подъемных сооружений.* Важнейшим вопросом для получения достоверных результатов по расчету на безопасность является определение нагруженности конкретного подъемного сооружения. Чтобы оценить фактическую загруженность, предложено применять регистраторы параметров их эксплуатации. Этой проблеме посвящены диссертационные работы А.Н. Павленко (защита в 1999 году), установившего спектры нагруженности металлоконструкций мостовых кранов, и Л.С. Каминского (защита в 2001 году), выполнившего исследование для стреловых кранов.

В настоящее время для контроля за работой грузоподъемных кранов, в соответствии со ст. 2.12.11. «Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов» (ПБ 10-382-00), предусмотрено устанавливать регистраторы параметров их работы. Эти приборы характеризуются различной степенью сложности и выполняемыми функциями на различных этапах их разработки и использования.

Таким образом, современные регистраторы параметров работы кранов представляют собой устройство, информирующее владельца о выра-

Таблица 1

Варианты оценки безопасности подъемных сооружений по величине риска взаимодействия N колеса с рельсом и несущей способности цеха S с учетом обнаруженных дефектов ni

Оценка	Признак опасности	Категория отказов	Количественные параметры	Рекомендации
отличное	отсутствуют	невероятные	$N < S$ Параметры дефектов $ni < [ni]$	эксплуатация без ограничений
хорошее	необходимое условие создания аварийной ситуации	отказ с малыми последствиями	$N > S$ $ni \rightarrow [ni]$ Риск при эксплуатации $R_{N>S} < [R]$	профилактический ремонт*
удовлетворительное	необходимое и достаточное условие создания аварийной ситуации	критичный (возможны разрушения, угроза жизни объекта)	$N > S$ $ni > [ni]$ $R_{N>S} < [R]$	капитальный ремонт согласно графика ППР*
неудовлетворительное	необходимое и достаточное условие аварии	катастрофический (потеря объекта)	$N > S$ $ni > [ni]$ $R_{N>S} > [R]$	эксплуатация запрещена, ремонт немедленно

* Кроме рекомендации проведения ремонта возможен перевод крана в более легкий режим с уменьшением его грузоподъемности и рабочих скоростей.

ботанном краном ресурсе (объеме выполненной работы) и необходимости проведения регламентных работ по техническому обслуживанию крана, а также предоставляет контролирующим органам сведения о возможных причинах аварии, если она произошла.

6. *Оценка риска эксплуатации металлоконструкций грузоподъемных кранов.* Несущая способность подъемных сооружений в целом зависит от надежности отдельных его элементов. Как было сказано выше, риск эксплуатации грузоподъемных кранов определяется безопасностью элементов первой группы, к которым относятся несущие металлоконструкции и канатно-блочная система.

Оценить риск эксплуатации элементов первой группы возможно, применяя алгоритм логико-вероятностного метода с использованием весовых коэффициентов, полученных экспертным путем. Весовые коэффициенты отражают индивидуальные особенности конструктивных элементов по интенсивностям отказов, с учетом экспериментальных данных по их ресурсу.

Данный алгоритм был реализован на основе статистического анализа элементов конструкций по интенсивностям отказов в производственных условиях и лабораторных экспериментов на полномасштабных образцах по исчерпанию несущей

способности (полному разрушению). Этому методу посвящена работа С.С. Чичерина, защищенная в 2002 году.

7. *Оценке риска эксплуатации стальных канатов канатно-блочной системы, в частности подъемных канатов, посвящены работы И.И. Еремина, (2004 г.) и В.В. Шевцова (2006 г.).* На основе положений теории рисков и катастроф ими предложен метод количественной оценки опасности возможного обрыва (разрушения) подъемных канатов, базирующийся на сравнении расчетной вероятности аварийного события с допустимой величиной безопасной эксплуатации мостового крана на основе статистической обработки экспериментальных данных, законов распределения наработки и несущей способности крановых подъемных канатов.

Разработан метод ранжирования безопасности каната на начальной стадии эксплуатации, основанный на анализе величины отклонений остаточных деформаций каждой из прядей каната при его изготовлении и расчете по отклонению деформаций вероятности аварийного обрыва.

8. *Оценка риска эксплуатации грузовых крюков.* При проведении экспертизы возникает ряд проблем по оценке риска эксплуатации отдельных элементов, входящих в «дерево событий»,

выход из строя которых приводит к аварии. Одним из элементов канатно-блочной системы является грузовой крюк.

Работа крупных перегрузочных терминалов характеризуется постоянным нарастанием объема перегружаемого материала, причем доля перегрузки штучных грузов металла (слитки, слябы, пакетированный металл и т.п.) в объеме перегружаемого материала постоянно увеличивается.

Парк перегрузочных машин в портах, в основном порталных кранов, используемых для этих операций, имеет срок службы в пределах 20–30 лет, группа классификации (режима) которых определяется как А6-А8 (по ИСО 4301/1), а объем перегрузки может составлять более 3–5 млн тонн на единицу оборудования.

При проведении плановых обследований грузоподъемных кранов, срок службы которых превысил нормативный, были отмечены случаи эксплуатации вышеуказанных кранов с крюковой подвеской в условиях, превышающих паспортные характеристики, по которым группа классификации (режима) не должна превышать А5. В то же время паспортными характеристиками предусмотрена возможность работы крана в грейферном режиме с группой классификации А6-А8. Как видно из вышесказанного, в частном случае группа классификации (режима) крана может превышать группу классификации (режима) грузового крюка. Это обстоятельство может привести к усталостному разрушению последнего (крюка), что подтверждается практикой эксплуатации. Имеются случаи обрыва кованых грузовых крюков, причем обрывы происходили в области первого витка нарезной части хвостовика крюка с усталостным характером повреждения, что подтверждается актами расследования аварий.

Обычно такая ситуация происходит из-за недостаточной квалификации работников службы эксплуатации порта, которые не располагают объективными данными по наработке крана и крюка в частности. Например, при сроке эксплуатации крана – 20 лет, количестве рабочих дней в году – 260, времени работы в сутки – 20 часов и десяти подъемах груза в час, общее число рабочих циклов составит $1,04 \times 10^6$ циклов, что в 4–8 раза превышает допустимое число рабочих циклов для режимов нагружения Q_3 – Q_4 (соответственно, для U_3 и U_4 максимальное число циклов составляет $1,25 \times 10^5$ и $2,5 \times 10^5$).

Таким образом, условие усталостной прочности грузового крюка при неблагоприятных условиях (превышение режима нагружения, недостаточная механическая прочность и чистота обработки резьбовой части) не выполняется. Приведенный пример свидетельствует о том, что при эксплуатации необходимо определять нагру-

женность порталных кранов, оснащая регистраторами параметров.

9. *Эксплуатация башенных кранов в сейсмических районах.* Статья 2.1.6 «Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов» (ПБ 10-382-00) требует: «Проектирование кранов, предназначенных для эксплуатации в сейсмических районах (более 6 баллов), согласно СНиП II-7, должно осуществляться в сейсмостойком исполнении». Эта статья относится не только к проектированию, но и к эксплуатации кранов в районах с сейсмичностью более 6 баллов.

По данным заводов изготовителей, большинство типов башенных кранов не рассчитывалось на сейсмические воздействия более 6 баллов. Лишь некоторые типы кранов, как правило в приставном исполнении, допускают к эксплуатации при 8–9 баллах.

Учитывая значительное количество существующих и эксплуатируемых в настоящее время кранов серии КБ, БКСМ, КПБ и КС в сейсмических районах до 9 баллов, а также невозможность быстрой их замены на сейсмоустойчивые краны (приставные и свободностоящие), предлагается на основании выполняемых конкретных проверочных расчетов на сейсмические воздействия, с учетом категории грунта по сейсмическим свойствам и мощности слоя грунта, оставлять в эксплуатации краны при условии, что величина фактического риска, рассчитанного для конкретного крана, не превышает допустимых значений.

10. *Эксплуатация башенных кранов в конечных участках рельсового пути.* В процессе эксплуатации грузоподъемных кранов, передвигающихся по крановым (рельсовым) путям, максимальные динамические нагрузки возникают при наездах на тупиковые упоры или при их столкновении друг с другом. Такого рода режимы не предусмотрены ни в технологических процессах предприятий, ни в проектах производства работ кранами и, как правило, носят случайный характер. Однако ситуации, когда происходят удары грузоподъемных кранов об тупиковые упоры или друг о друга, возникают, к сожалению, чаще, чем хотелось бы, и оказывают существенное влияние, как на техническое состояние грузоподъемных кранов, передвигающихся по крановым (рельсовым) путям, так и на безопасность кранов. Этой проблеме посвящены диссертационные исследования В.Г. Жукова (2004 г.).

В соответствии со статьей 2.12.26 «Правил устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов» (ПБ 10-382-00) краны, передвигающиеся по крановому пути, и их тележки для смягчения возможного удара об упоры или друг о друга должны быть снабжены упругими буферными устройствами, а в соответствии

с РД 22-28 35-99 «Конструкция, устройство и безопасная эксплуатация рельсовых путей башенных кранов» рельсовые пути башенных кранов должны оборудоваться тупиковыми упорами, предназначенными для гашения скорости крана и предотвращения его схода с концевых участков пути в аварийных ситуациях при отказе ограничителя передвижения или тормозов механизма передвижения крана.

Несмотря на это, порой причинами аварий грузоподъемных кранов, передвигающихся по крановым (рельсовым) путям, могут являться либо низкая надежность приборов и устройств безопасности в целом и тупиковых упоров в частности, либо недостаточная энергоемкость крановых буферных устройств, так как поглощение буферами полной кинетической энергии крана при больших скоростях и массах неосуществимо.

По результатам исследования предложены новые конструкции буферных устройств и методика их расчетов, основанные на поглощении кинетической энергии за счет гравитационной составляющей.

11. *Диагностика и риск-анализ металлоконструкций грузоподъемных машин в управлении их безопасностью.* Проблема управления безопасной эксплуатацией грузоподъемных машин с истекшим сроком службы связана с решением крайне сложных взаимосвязанных задач путем проведения комплекса организационно-технических мероприятий, направленных на установление фактического риска и экономической целесообразности дальнейшей эксплуатации. Важнейшим условием при этом становится проведение экспертизы промышленной безопасности и технического диагностирования, результаты которых позволяют установить реальное состояние грузоподъемных машин в текущий момент времени. Этой проблеме посвящена докторская диссертация В.С. Котельникова (2006 г.).

Все процессы образования и развития дефектов в металлоконструкциях грузоподъемных кранов носят вероятностный характер. Дефекты в конструкциях часто наследуются при изготовлении металлоконструкции или появляются на стадии сборки и монтажа. При эксплуатации они возникают как следствие нарушений паспортных режимов и некачественный ремонт несущих элементов. Строго говоря, бездефектных металлоконструкций вообще не бывает, а наличие дефектов далеко не всегда приводит к аварии. Несмотря на то, что по статистике Ростехнадзора аварии чаще всего случаются по причинам проявления человеческого фактора, все же наиболее тяжелые случаи аварий связаны с усталостным разрушением металлоконструкций.

Применение системного подхода и критериев магнитного контроля может явиться ключом к решению рассматриваемой проблемы. Магнитный контроль по коэрцитивной силе расширяет возможности неразрушающего контроля металлоконструкций, так как обеспечивает определение момента накопления рассеянных повреждений и перехода металла в упруго-пластическое состояние. Использование данных о текущем состоянии несущих элементов металлоконструкций позволяет решать задачи управления промышленной безопасностью грузоподъемных машин на основе оценки риска.

Среди магнитных параметров наиболее чувствительными к изменениям структуры и физико-механических свойств ферромагнитных металлов являются остаточная индукция B_T , магнитная проницаемость μ и коэрцитивная сила H_C . Поэтому эти характеристики получили наибольшее распространение в качестве параметров магнитного контроля.

Система магнитной диагностики (МК) по коэрцитивной силе расширяет возможности неразрушающего контроля (НК) металлоконструкций за счет контроля за накоплением рассеянных повреждений и перехода металла в упруго-пластическое состояние. Использование данных об исходном состоянии несущих элементов кранов позволяет установить начальные условия при решении задачи прогнозирования ресурса ПС. Результаты первичного магнитного контроля напряженно-деформированного состояния, выполненные сразу после сборки конструкции, составляют паспорт магнитного контроля (ПМК) грузоподъемного крана.

Используя данные ПМК и методику магнитного контроля H_C при повторных обследованиях ПС, можно с вероятностью 0,9 прогнозировать остаточный ресурс и риск разрушения металлоконструкций из сталей марок СтЗсп и 09Г2С по зависимостям, связывающим скорость накопления повреждений при усталости и время эксплуатации ПС.

Остаточный ресурс определяется по мах H_C в «слабом звене», где магнитным методом легко обнаружить места концентрации напряжений и уровень остаточных напряжений. Данные паспорта магнитного контроля и повторный магнитный контроль после монтажа крана позволяют предупредить переход металла в стадию разупрочнения и предотвратить аварийные ситуации при эксплуатации грузоподъемных машин.

Как следует из полученных статистических данных, 50 % даже после 30 лет эксплуатации продолжают работать в «надежном» режиме. Около 30 % перешли в «контролируемый» режим. Остальные работают в «критическом» режиме и нуждаются в капитально-восстановительном ремонте.

те. При этом 3 % из них исчерпали ресурс и подлежат списанию. Именно эти краны с большой степенью вероятности технического разрушения ($S > 10\%$) представляют опасность при эксплуатации.

Отличительная особенность МК по коэрцитивной силе – возможность выявления начальных стадий зарождения дефектов и предупреждение развития дефектов до критических размеров. Эффективность метода возрастает при систематическом коэрцитиметрическом контроле.

Такой подход позволит перейти от эксплуатации оборудования «на отказ» к работе его с заданным уровнем надежности и безопасности. Иначе говоря, с «прогнозируемым ресурсом». При этом могут быть решены технические проблемы с экономической выгодой для предприятий-владельцев потенциально опасных объектов. Действительно, зная реальное состояние металла расчетных элементов, владелец может спланировать ППР, своевременно произвести капитально-восстановительный ремонт (КВР) или произвести замену выработавшего свой ресурс оборудования.

В конструкциях из пластичной стали ВСтЗсп5 по мере выработки ресурса в режиме «надежной» эксплуатации технический риск разрушения S возрастает от 0 до 0,05 %. На нижнем пределе «контролируемого» режима эксплуатации, когда $P = 20\%$, технический риск поднимается до $S = 4\%$. При эксплуатации в «критическом» режиме, когда $P = 10\%$, S достигает 9 %. Эксплуатация такого оборудования становится опасной. Такое оборудование подлежит внеочередному техническому диагностированию с последующим КВР или списанию, если будет отрицательное заключение по результатам экспертизы промышленной безопасности. В большинстве случаев задачи, решаемые с помощью магнитного контроля (МК), не могут быть решены другими расчетными или неразрушающими методами, в частности при выполнении контроля напряженно-деформированного состояния (НДС) и оценке остаточного ресурса с учетом возможности восстановления несущей способности конструкции после капитально-восстановительного ремонта (КВР).

Проведенные исследования позволили рекомендовать применение критериев магнитного контроля к управлению промышленной безопасностью грузоподъемных машин.

12. *Безопасность грузоподъемных кранов при ненормируемых условиях эксплуатации.* На стадии эксплуатации грузоподъемного крана должно быть обеспечено выполнение условия, что Risk фактический меньше или равен [Risk], поскольку именно на стадии эксплуатации грузоподъемного крана фактически происходит проверка адекватности моделей надежности,

прочности, ресурса (срока службы), безопасности и назначенного уровня риска, применяемых на стадии проектирования и изготовления, фактическим условиям эксплуатации. Заметим, что понятие «безопасность грузоподъемного крана в эксплуатации» относительно новое и оно во многом тождественно понятию «приемлемого риска».

Этой проблеме посвящена докторская диссертация А.С. Липатова (2006 г.), заключающаяся в создании метода перехода от результатов инженерного обследования отдельных грузоподъемных кранов к оценке безопасности (оценке риска) в соответствии с требованиями Федерального законодательства.

Особенно это важно, когда по тем или иным причинам грузоподъемный кран «попадает» в условия эксплуатации, не соответствующие паспортным (т.е. тем, которые изначально не учитывались при его проектировании). Например, нередко в регионы с холодным климатом поступали краны обычного исполнения. Аналогичная «ситуация несоответствия» возникала и с кранами для интенсивных погрузочно-разгрузочных операций.

Несоответствие возникало и в тех случаях, когда на открытые эстакады или в производственную технологию старых складов с «плохими» крановыми рельсовыми путями устанавливали краны с высокими скоростями механизма передвижения или некачественно выставленными колесами.

Приведенные примеры несоответствий (воздействий ненормируемых условий эксплуатации), в конечном счете, становились причиной тех или иных увеличенных нагрузок, которые приводили как к росту числа циклов нагружения, так и ухудшению параметров каждого цикла нагружения крана. В этом случае представляется достаточно актуальным установить количественные характеристики воздействия упомянутых перегрузок и оценить их влияние на степень приближения Risk фактического к величине [Risk].

В соответствии со статистикой отказов и наиболее опасных аварийных ситуаций установлено влияние ненормируемых условий эксплуатации для элементов «первой группы» крана, а именно:

- воздействие низких температур (температур ниже предельного уровня, указанного в паспорте крана) на хладостойкость расчетных (несущих) сварных элементов металлоконструкций грузоподъемных кранов, вызывающее возможный лавинообразный рост трещин и хладноломкость;
- воздействие высоких температур на стальные канаты металлургических кранов, приводящее к термоциклической усталости канатов и последующему их внезапному разрыву;
- воздействие высоких динамических нагру-

зок в системе «кран–крановый путь», обусловленное высокими погрешностями установки крановых колес и отклонениями ширины колеи кранового пути от проектных положений. Наличие высоких динамических нагрузок в системе «кран – крановый путь» вызывает ускоренный рост усталостных трещин в расчетных (несущих) элементах металлоконструкций грузоподъемных кранов, а также в элементах строительных конструкций, на которых установлен крановый рельсовый путь;

- нарушение периодичности и/или невыполнение необходимых технологий при капитальном, полнокомплектном и капитально-восстановительном ремонте.

Проведенные исследования, позволяют прогнозировать не только снижение потока отказов, но и обосновывать рекомендации по безаварийной эксплуатации грузоподъемных кранов в ненормируемых условиях эксплуатации.

13. *Создание высокоэффективных, многофункциональных и безопасных в эксплуатации канатных дорог.* Канатные дороги представляют собой сложную многокомпонентную транспортную систему, безопасность которой является определяющим параметром при ее создании и эксплуатации.

Выполненные научно-исследовательские работы позволили:

- развить теорию рисков и катастроф применительно к канатным дорогам, что позволило создавать и эксплуатировать эти сложные техни-

ческие системы по регламентам, обеспечивая (прогнозируя) риски перевозок на уровне авиационных пассажирских;

- создать теорию строительной механики стального каната, учитывающую фактические значения параметров материала и пространственную геометрию отдельных прядей и проволок, позволяющую конструировать для канатных дорог несущие и несущетяговые канаты повышенной агрегатной прочности;

- создать трехмерную математическую модель ферромагнитных витых элементов в подвижном магнитном поле, позволяющую прогнозировать зарождение и развитие дефектов в стальном канате канатных дорог, что реализовано в выпускаемых дефектоскопах;

- разработать новые типы канатных дорог бесконечной длины с распределенными приводами по длине трассы, обладающие мобильностью и простотой конструкций, с сохранением комфортности перевозки пассажиров и минимальным воздействием на окружающую среду горно-рекреационных и горно-туристических комплексов;

- создать новое мультидисциплинарное научное направление сохранения естественной природной среды в горно-рекреационных и горно-туристических комплексах, концепция которого основана на использовании канатных дорог в сафари-парк-технологиях, позволяющих получать суммарно социальный, природоохранный, рекреационный и экономический эффекты.

Литература

1. **Справочное** пособие по ремонту металлоконструкций грузоподъемных кранов. – Новочеркасск: НГТУ, 1994. - 180 с. Соавт. Хальфин М.Н., Иванов Б.Ф., Логвинов А.С.

2. **Оценка, прогноз и управление промышленной безопасностью подъемных сооружений.** – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2000. ; ЮРГТУ, 2000. 216 с. Деп. в ВИНТИ 27.09.00, №2473. Соавт. Котельников В.С., Павленко А.Н.

3. **Словарь терминов и определений по подъемным сооружениям / Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России».** – М., 2003. 115 с. Соавт. Стоцкая Л.В., Котельников В.С., Зарецкий А.А., Липатов А.С. и др.

4. **Словарь терминов и определений по подъемным сооружениям. 2 - е издание / Коллектив авторов Под ред. Котельникова В.С.** – Екатеринбург:

ЗАО «Уральский экспертный центр», 2004. 286 с. Соавт. Стоцкая Л.В., Котельников В.С., Зарецкий А.А., Липатов А.С. и др.

5. **Техническая диагностика и оценка ресурса грузоподъемных машин / ЗАО «Уральский экспертный центр».** – Екатеринбург, 2006. 49 с. Соавт. Стоцкая Л.В., Котельников В.С., Зарецкий А.А., Липатов А.С. и др.

6. **Диагностика и риск-анализ металлических конструкций грузоподъемных кранов.** – Новочеркасск: УПЦ «Набла» ЮРГТУ(НПИ), 2006. 315 с. ISBN 5-88998 -716-X. Соавт. Котельников В.С., Павленко А.Н., Еремин И.И.

7. **Пассажирские канатные дороги. Эффективность и безопасность при эксплуатации.** – Ростов-на-Дону: Изв. вузов. Сев.-Кавк. регион, 2006. 120 с. ISSN 0321-2653. Соавт. Гушин В.В., Иванов К.М., Козловский А.Е., Котельников В.С., Маслов В.Б., Павленко А.В.