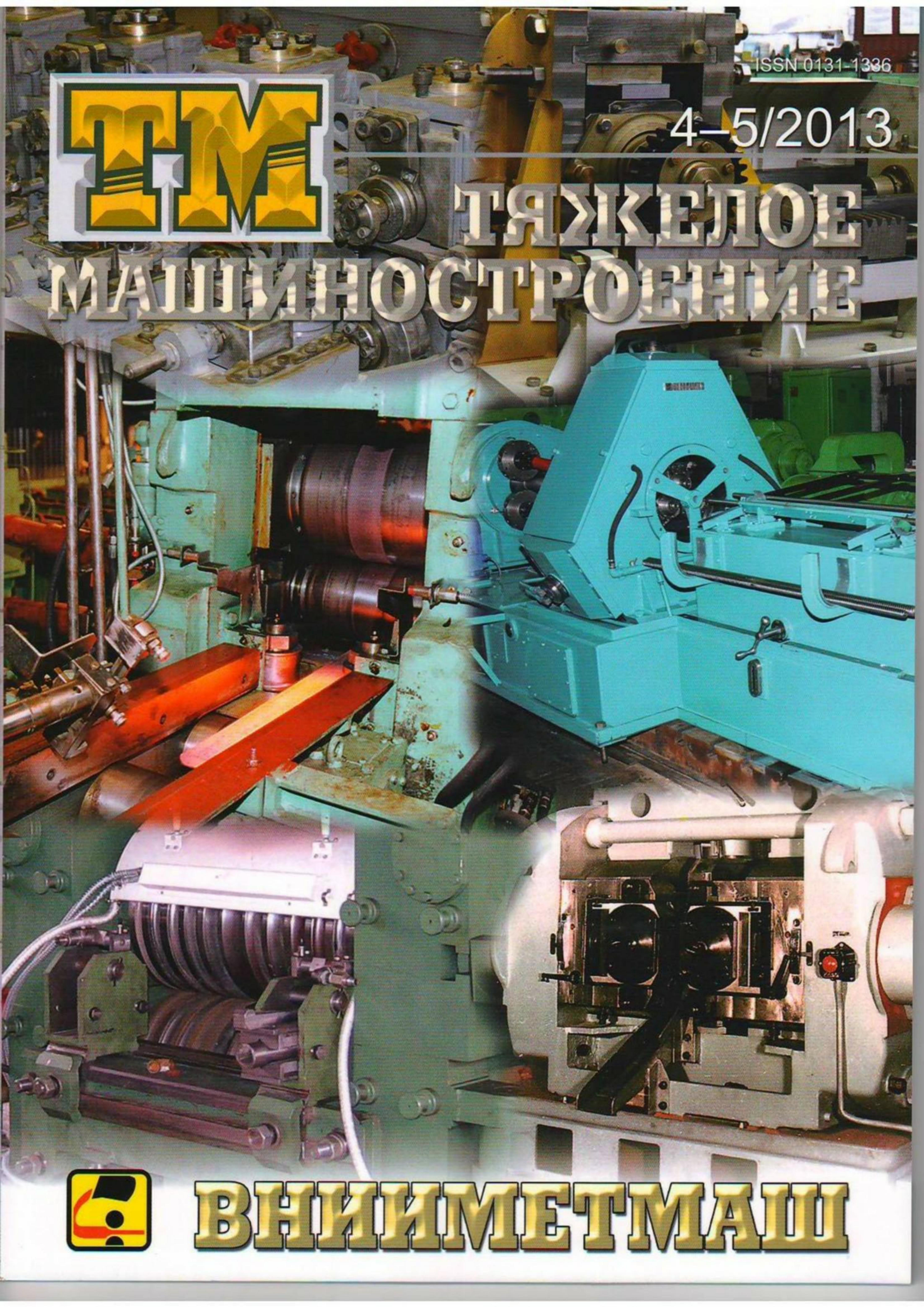




4-5/2013

ТЯЖЕЛОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ



ВНИИМЕТМАШ



Достижение современного технологического уровня тяжелых машин на основе обеспечения дальнейшей безотказной работы базовых деталей

Г. К. Кривонос, д-р техн. наук; И. А. Сурков, канд. техн. наук;

В. Я. Тонконогов; А. И. Сурков, д-р техн. наук

(АХК ВНИИМЕТМАШ им. акад. А. И. Целикова)

Тяжелые машины в металлургии, машиностроении, энергетике и других отраслях народного хозяйства работают на производствах, определяющих общий и промышленный потенциал России. В [1] отмечено, что «... хотя вклад тяжелого машиностроения в ВВП составил в 2009 г. лишь 1,2%, потребители продукции тяжелого машиностроения (нефтегазовый комплекс, металлургия и горнодобывающий комплекс) обеспечивают свыше 80% поступлений в бюджет». Функционирование сырьевых и энергетических отраслей в значительной мере зависит от тяжелого оборудования, а затраты на приобретение, обслуживание и эксплуатацию тяжелого оборудования занимают около трети всех затрат этих отраслей.

Большинство тяжелых машин находится в эксплуатации 30–40 и более лет, с увеличением сроков эксплуатации усиливаются процессы морального и физического старения, и встает вопрос о замене изношенных машин новыми. Но замена большей части парка машин с длительными сроками службы является трудновыполнимой задачей. Это связано с тем, что тяжелые машины имеют сложные конструкции, весьма значительные габариты и массу, поэтому проектирование, изготовление и монтаж новых машин требуют весьма больших затрат времени и средств. Так, при обработке материалов давлением широко используются мощные гидравлические прессы и прокатные станы. Массы собственно гидравлических прессов силой 750, 300 (рис. 1), 150 и 100 МН составляют, соответственно, 20 500, 6500, 2000, и 1000 т. Станины клетей прокатных станов 2500 и 5000 имеют массы 111 т и 330 т, силовые конструкции гидроагрегатов высоконапорных ГЭС имеют массу порядка 1700 т. Габариты и массы отдельных деталей тяжелых машин достигают десятков метров и сотен тонн, что находится на пределе технологических возможностей крупнейших машиностроительных заводов и транспорта. В общем случае, для полного обновления тяжелых машин и обо-



Рис. 1. Штамповочный пресс силой 300 МН конструкции УЗТМ



рудования нет ни времени, ни средств, поэтому работа на устаревшем оборудовании существенно снижает технологические возможности предприятий.

Но износ тяжелых машин не связан прямой зависимостью с длительностью сроков эксплуатации, что обусловлено рядом конструктивных и технологических особенностей этих машин. Во-первых, физическая сущность основных технологических процессов, осуществляемых тяжелыми машинами, таких как плавка и литье металла, обработка материалов давлением и резанием, получение электроэнергии в гидроагрегатах и атомных реакторах, остается неизменной весьма длительное время. Новое оборудование, в большинстве случаев, отличается от существующего большей мощностью, более совершенной технологической оснасткой, современными системами привода, управления, механизации и автоматизации [2]. Это позволяет удовлетворять возрастающие технологические требования с минимальными материальными и временными затратами за счет модернизации указанных систем (~20% стоимости и массы собственно машины) при обеспечении дальнейшей надежной эксплуатации основных несущих базовых деталей (~80% массы и стоимости машины).

Во-вторых, тяжелые обрабатывающие и энергетические машины, основу которых составляют несущие базовые детали, не подвержены и физическому износу. Опыт эксплуатации показывает, что разрушения базовых деталей не связаны со старением всего объема материала в процессе длительной работы. Причины разрушения узлов и деталей в виде конструктивно-технологических концентраторов напряжений существовали с самого начала эксплуатации и были заложены в машины заводами-изготовителями на стадиях проектирования, изготовления и монтажа. На современном уровне развития науки о прочности эти причины выявляются и устраняются до начала развития усталостных трещин и разрушения деталей [3]. Поэтому, в связи с большими стоимостью и длительностью изготовления новых тяжелых машин целесообразно сохранить для дальнейшей эксплуатации действующие машины [4].

Возможность весьма длительной успешной эксплуатации тяжелых машин подтверждается практикой их работы на отечественных и зарубежных предприятиях. В России с 1961 г. успешно работают прессы силой 300 МН производства УЗТМ и 750 МН производства НКМЗ. В США до настоящего времени находится в эксплуатации пресс фирмы «Места» силой 100 МН (запущен в 1944 г.). С 1957 г. работает пресс фирмы «Юнайтед» силой 315 МН. В 1960 г. введены в эксплуатацию и действуют до настоящего времени прессы фирмы «Болдвинг» силой 225 МН и фирмы «Леви» силой 315 и 450 МН.

В то же время недостаточное внимание к оценке состояния и обеспечению прочностной надежности базовых деталей тяжелых машин вызывает аварийные ситуации и значительный экономический ущерб. Отметим здесь

гидравлический ковочный пресс силой 500 МН, установленный в 1955 г. на заводе фирмы АЛКОА в г. Кливленд (США). Высота пресса 27 м, масса собственно пресса 8000 т. При длительности эксплуатации более 50 лет пресс морально не устарел и остается самым мощным в мире ковочным прессом.

В конце 2008 г. на прессе произошла авария с разрушением нижних поперечин, повреждением фундаментных балок и колонн [5]. Причиной разрушения явились усталостные трещины, возникшие на контурах технологических отверстий в стенках нижних поперечин. Простой технологической линии, связанный с изготовлением новых колонн, поперечин и фундаментных балок, демонтажом-монтажом пресса, составил 3,5 года.

Исследования, проведенные после аварии американскими специалистами, показали, что максимальные напряжения в технологических отверстиях нижних поперечин превышали предел усталостной прочности материала. Постепенное накопление усталостных повреждений привело к возникновению усталостных трещин, а длительный рост этих трещин вызвал «внезапное» разрушение нижних поперечин после 53 лет эксплуатации. Это означает, что причина разрушения была заложена в конструкцию детали заводом-изготовителем и существовала с момента начала эксплуатации. Для предупреждения разрушения были необходимы:

- своевременная экспертиза состояния базовых деталей с оценкой запасов усталостной прочности в зонах конструктивно-технологических концентраторов напряжений;

- разработка технических решений, предупреждающих разрушение;

- устранение на месте без демонтажа-монтажа пресса конструктивных концентраторов с запасом усталостной прочности $n < 1$.

Рассмотренный выше пример является одним из типовых случаев большого числа разрушений базовых деталей, связанных с возникновением и развитием усталостных трещин в зонах конструктивно-технологических концентраторов напряжений. Для обоснования важности и необходимости своевременного проведения работ по прогнозу и обеспечению прочностной надежности действующих тяжелых машин отметим здесь «внезапное» усталостное разрушение шпилек гидроагрегата № 2 СШГЭС (август 2009 г.), которое привело к катастрофическим последствиям. В Акте технического расследования причин аварии [6] отмечается: «Срок службы гидротурбин, установленный заводом-изготовителем, — 30 лет. На момент аварии срок эксплуатации гидротурбин составлял 29 лет 10 мес.». Таким образом, так же как и в случае с прессом силой 500 МН, для предупреждения аварийной ситуации необходимо было своевременно провести экспертизу состояния базовых деталей, разработать и осуществить технические решения по обеспечению их прочности.



Результаты представленного выше анализа, во-первых, подтверждают положение о том, что моральный износ тяжелых машин не связан прямой зависимостью с длительностью срока службы. Длительный срок службы только подтверждает их технологическую востребованность и снимает проблему морального износа при дальнейшей длительной эксплуатации. Во-вторых, результаты анализа обосновывают необходимость экспертизы состояния, разработки и внедрения технических решений, предупреждающих разрушение базовых деталей. Своевременное проведение этих мероприятий обеспечивает неограниченную долговечность тяжелых машин и снимает проблему физического износа.

Научно-технические вопросы модернизации и обеспечения дальнейшей длительной эксплуатации базовых деталей тяжелых машин полностью отработаны [2–5]. Установление причин отказов своевременно, до возникновения необратимых изменений, достигается применением современных методов экспертизы состояния базовых деталей. Технические решения, разработанные для всех классов базовых деталей, позволяют на месте в цеховых условиях устранить причины возможных отказов. При восстановлении разрушенных или поврежденных деталей вносятся конструктивно-технологические изменения, повышающие прочность деталей и устрашающие возможность возникновения повторных отказов. Обеспечение дальнейшей длительной безотказной работы базовых деталей выводит тяжелые машины и оборудование в различных областях техники на современный технологический уровень в кратчайшие сроки с минимальными затратами.

Обоснование представленных выше положений покажем на примерах обеспечения современного технологического уровня тяжелых машин с длительными сроками службы.

1. Гидравлические прессы силой 20, 35, 50 и 100 МН конструкции УЗТМ работают в линии производства железнодорожных колес на Выксунском металлургическом заводе с 1971 г.

Выполнен комплекс работ по обеспечению прочностной надежности базовых деталей прессов при увеличении производительности линии с 450 000 колес/год (1971–2002 гг.) до 850 000 колес/год (2003–2012 гг.) [2]. Для линии мощных гидравлических прессов 850 000 на гружений в год полным усилием является мировым рекордом производительности.

2. Гидравлический пресс силой 200 МН конструкции КЗТС работает в линии формовки заготовок нефтегазовых труб диаметром 1020–1220 мм на Челябинском трубопрокатном заводе с 1971 г.

В 2003–2005 гг. выполнен комплекс работ по обеспечению прочностной надежности базовых деталей при увеличении силы пресса с 200 МН до 350 МН [3]. Увеличение силы мощного гидравлического пресса в 1,8 раза при сохранении первоначальных технологи-

ческой оснастки и базовых деталей осуществлено впервые в мировой практике.

3. Гидравлический штамповочный пресс силой 300 МН конструкции УЗТМ работает на ВСМПО-АВИСМА с 1961 г. Для контроля параметров технологического процесса и предупреждения разрушений базовых деталей разработана, изготовлена и с 2003 г. находится в эксплуатации система управления прочностными и технологическими параметрами пресса [3]. Система, работающая в режиме реального времени, предупреждает возникновение недопустимо высоких напряжений в колоннах при производственных операциях и осуществляет контроль параметров технологического процесса по эксцентрику силы пресса.

4. Прокатные станы 1700 и 2800 на ОАО «Северсталь», спроектированные и изготовленные НКМЗ, введены в эксплуатацию в 1959 г. Экспертиза станин клетей прокатных станов, проведенная в 2008 г. после 50 лет эксплуатации [5], состояла из 2 этапов. На первом этапе расчетом методом конечных элементов установлено, что напряжения в галтелях буртов под гайку нажимного винта значительно превышают предел усталостной прочности материала станины. На втором этапе методами неразрушающего контроля в зоне максимальных напряжений в станине клети стана 1700 обнаружена трещина значительной протяженности. Для предупреждения разрушения станин вместо радиусной галтели бурта под гайку нажимного винта выполнена галтель специальной формы с поднутрением стенки. Галтель бурта специальной формы обеспечивает неограниченную долговечность станины как при проектной, так и при увеличенной в 1,5 раза нагрузке на клеть прокатного стана.

Результаты представленного выше анализа и примеры обеспечения дальнейшей безотказной работы тяжелых машин как при проектных, так и при увеличенных технологических параметрах показывают достаточную разработанность необходимых технических решений. Можно считать поэтому, что эффективный проект обновления тяжелых машин на современном этапе заключается в обеспечении прочностной надежности базовых деталей на дальнейший длительный период эксплуатации и модернизации (или замене) систем привода, управления и механизации. Выполнение работ по программам проекта снимает проблему морального старения и обеспечивает современные технологические возможности тяжелых машин.

Реализация проекта обновления действующих тяжелых машин включает в себя следующие этапы:

1. Анализ технологических возможностей действующего оборудования с разделением его на следующие категории:

1.1. Оборудование, которое будет в дальнейшей эксплуатации при существующих параметрах технологического процесса без изменения систем привода, управления и механизации.

1.2. Оборудование, которое будет в дальнейшей эксплуатации при существующих параметрах техноло-



гического процесса с модернизацией систем привода, управления и механизации.

1.3. Оборудование, которое будет в дальнейшей эксплуатации с модернизацией технологического процесса (увеличение силы и производительности), систем привода, управления и механизации.

1.4. Морально изношенное оборудование, подлежащее списанию.

2. Экспертиза фактического состояния объектов по пунктам 1.1–1.3, установление причин возможных отказов, разработка технических решений по их предупреждению.

3. Осуществление технических решений по предупреждению отказов базовых деталей объектов по пунктам 1.1–1.3 при дальнейшей длительной эксплуатации.

4. Модернизация объектов по пунктам 1.2 и 1.3 с сохранением для дальнейшей длительной эксплуатации базовых деталей.

Однако, широкая реализация проекта сдерживается рядом обстоятельств. Во-первых, это недостаточная квалификация специалистов предприятия, на котором установлена машина (далее – Пользователь), в области экспертизы состояния и предупреждения отказов базовых деталей тяжелых машин. Специалисты Пользователя считают оборудование, поставленное крупнейшими машиностроительными заводами, отвечающим последнему слову науки и техники и, следовательно, имеющим максимально достижимую для данного вида оборудования долговечность. Подтверждается это положение тем, что машиностроительные заводы не комплектуют тяжелые машины запасными базовыми деталями, что предполагает их безотказную работу до окончания срока морального износа оборудования. А для работников Пользователя установление и предупреждение причин отказов базовых деталей не предусмотрены инструкцией по эксплуатации машин, не соответствуют их специализации и не входят в их штатные обязанности. Поэтому экспертиза состояния, предупреждение отказов и восстановление базовых деталей должны выполняться специализированными организациями.

Во-вторых, успешная и широкая реализация проекта в масштабах всей страны сдерживается тем, что большинство крупных предприятий принадлежат частным владельцам. Это не позволяет разработать и своевременно внедрить единые эффективные технико-экономические решения для обновления тяжелых машин, работающих на различных предприятиях.

Для устранения отмеченных выше причин, затрудняющих выполнение проекта обновления, и предупреждения аварий тяжелых машин следует на законодательном уровне отработать организационно-экономическую составляющую часть проекта. Необходимость такого централизованного подхода заключается в том, что для предприятий, находящихся в собственности различных владельцев, следует разработать и сделать обязательным единый технико-экономический регламент обеспечения

дальнейшей безотказной работы действующих тяжелых машин и оборудования.

Заключение

1. На современном этапе обновление парка тяжелых машин и оборудования в различных отраслях народного хозяйства должно основываться на инновационном проекте, заключающемся в сохранении для дальнейшей эксплуатации базовых деталей, составляющих собственно тяжелые машины и оборудование, и в модернизации или полной замене устаревших систем привода, управления и механизации.

2. Инженерно-методические вопросы обеспечения прочностной надежности базовых деталей при дальнейшей длительной эксплуатации тяжелых машин и оборудования детально разработаны и апробированы на ряде промышленных объектов.

3. Своевременное и масштабное выполнение проекта дает в едином комплексе решение задач обновления тяжелых машин и оборудования в различных отраслях народного хозяйства, предупреждает аварии и техногенные катастрофы.

4. Для успешного осуществления проекта следует на законодательном уровне отработать его организационно-экономическую составляющую. Это позволит для различных предприятий отрасли и для различных отраслей промышленности создать и сделать обязательным единый технико-экономический регламент обеспечения дальнейшей безотказной работы действующих тяжелых машин и оборудования.

Литература

1. Стратегия развития тяжелого машиностроения на период до 2020 г. Утверждена приказом Министерства промышленности и торговли РФ от 9 декабря 2010 г. № 1150.

2. Пасечник Н. В., Сурков И. А. Обеспечение прочностной надежности металлургических машин – важная составляющая часть модернизации металлургического комплекса России // Тяжелое машиностроение. 2008. № 5. С. 11–17.

3. Сурков И. А. Увеличение ресурса и силы мощных гидравлических прессов металлургической промышленности России // Тяжелое машиностроение. 2010. № 5. С. 60–65.

4. Пасечник Н. В., Сурков И. А. Обновление тяжелых машин в посткризисный период на основе инновационных процессов // Модернизация, Инновация, Развитие. 2011. № 2 (6). С. 39–42.

5. Семичев Ю. С., Сурков И. А. Предупреждение аварий тяжелых металлургических машин, вызванных разрушением их базовых деталей // Тяжелое машиностроение. 2012. № 8. С. 16–21.

6. Акт технического расследования причин аварии, произошедшей 17 августа 2009 г. на Саяно-Шушенской ГЭС им. П. С. Непорожнего. Ростехнадзор РФ. Октябрь 2009 г.