

# Новая жизнь старых изделий

## МОДЕРНИЗИРОВАТЬ СТАЛО ЛЕГЧЕ!

**З**АО "Ухтинский механический завод" — одно из немногих российских предприятий, выпускающих башенные краны и комплектующие к ним. Сегодня это один из лидеров в области проектирования и выпуска подъемно-транспортного оборудования, в том числе для работы в тяжелых условиях Крайнего Севера и Сибири. Высокие темпы строительства требуют башенных кранов высокой мобильности, способных к переоборудованию из одного исполнения в другое, причем за короткий срок. При решении этой задачи наибольшее распространение получила система модульных кранов типа КБМ-401. В последнее время повсеместно идет активное строительство уникальных высотных сооружений: торговых и производственных комплексов, бизнес-центров. Имеющиеся модификации модульных кранов недостаточно полно отвечают возрастающим требованиям к грузоподъемности, высоте подъема и вылету крюка. По сравнению с российскими аналогами импортные башенные краны, как правило, отличаются меньшей материалоемкостью, но и стоимость их существенно выше. Следовательно, необходима российская продукция с подобными характеристиками, но с более умеренной ценой. Естественно, для разработки в сжатые сроки конкурентоспособных машин и механизмов требуется современный подход, а именно применение компьютерной техники и специализированных программных продуктов для проведения целого комплекса расчетов, важнейшими из которых являются прочностные. Для этих целей предназначены современные конечно-элементные вычислительные комплексы. В отличие от ручного расчета, использование таких комплексов позволяет выполнить прочностные расчеты весьма сложной метал-

локонструкции и получить исчерпывающие данные по напряженно-деформированному состоянию каждого ее элемента. Применение конечно-элементных программных комплексов дает предприятию важное преимущество — уже на этапе проработки технического задания анализ конечно-элементной модели позволяет определить, какие технические изменения необходимо внести в конструкцию для полного удовлетворения требований заказчика. Все это возможно сделать, не прибегая к достаточно дорогим услугам специализированных проектно-конструкторских бюро, ведь зачастую речь идет не о принципиальном изменении конструкции, а лишь об ее модернизации. В условиях возрастающей конкуренции важными показателями являются также время выполнения расчета и количество занятых этим специалистов. Программа позволяет выполнить расчет в сжатые сроки.

### Постановка задачи

Объектом исследования, положенного в основу этой статьи, является башенный кран КБМ-401 УХЛ. Ухтинскому механическому заводу предстояло изготовить модификацию крана, отличающуюся от базовой модели длиной стрелы и высотой башни при условии сохранения исходной грузоподъемности. В требованиях заказчика были заложены следующие цифры: вылет стрелы — 65 м, высота подъема — 50 м (характеристики базовой модели: длина стрелы — 30 м, высота башни — 50 м). Необходимо было выполнить прочностной расчет достаточно сложной металлоконструкции крана, а затем провести модернизацию крана для обеспечения соответствующей грузоподъемности в зависимости от вылета стрелы. При изменении технических характеристик подъемного устрой-

ва в сторону увеличения параметров сразу возникает очень важный вопрос о монтаже, так как увеличиваются нагрузки на каждый механизм и металлоконструкцию в целом. Как результат, появляются ограничения на изменение конструкции. Для разработки и подготовки конечно-элементной модели, а также проведения прочностного расчета использовалась система APM Structure3D российского программного комплекса APM WinMachine, разрабатываемого в Научно-техническом центре "АПМ".

### Особенность подготовки модели

Для получения корректных результатов расчета требуется выбрать правильный способ моделирования элементов конструкции. Система APM Structure3D обладает набором необходимых средств и механизмов для создания вариантов различных конструкций, в том числе и расчетных моделей металлоконструкций.

Конструкция портала крана, секций башни, оголовка, секций стрелы и расчала моделировалась стержневыми элементами. Использование встроенного редактора сечений позволило спроектировать новые упрочненные профили без увеличения их габаритных размеров. Для моделирования проушин соединения и косынок в модель добавлялись пластинчатые элементы. При моделировании соединительных пальцев применялись объемные конечные элементы.

### Важное преимущество — блочная конструкция

Поскольку башенный кран является модульной конструкцией, для подготовки модели необходимо отдельно создать стержневые модели основных элементов конструкции крана: портала, оголовка, секций башни и стрелы. Полученные таким образом модели являются исходны-

ми для создания всего спектра модификаций башенного крана данного типа и позволяют в короткий срок подготовить полную модель башенного крана для прочностного расчета.

Первоначально на основании имеющейся расчетно-пояснительной записки к техническому проекту крана была создана базовая модель — КБМ-401 (рис. 1). Такая методика позволяет провести тестирование модели для проверки ее адекватности на основании качественного и количественного сравнения результатов расчета с данными натурных испытаний произведенной ранее типовой конструкции.

### Канаты и блоки

Все канаты при нагружении крана подвержены растяжению и моделировались стержнями типа "канат". В поперечном сечении применялся круг соответствующего диаметра с эквивалентными канату геометрическими характеристиками.

Моделирование блоков осуществлялось посредством "колес со спицами". В качестве "обода" колеса и "спиц" использовались стержневые элементы, соединенные шарнирно. Через такой блок передается как сила натяжения каната, так и результирующая сила натяжения, действующая на ось блока.

Крепление подкосов портала к поворотной платформе моделировалось опорами с одной степенью свободы — вращение вокруг одной оси (собственной оси), что эквивалентно штифтовому соединению.

### Комплексный подход к нагружению конструкции

Расчет необходимо проводить для наиболее опасного нагруженного состояния. При работе на башенный кран действуют нагрузки различной природы.

Во-первых, нагрузка от веса поднимаемого груза. Численное значение выбирается по графику грузоподъемности в зависимости от вылета стрелы. При повороте стрелы от действия сил инерции груза возникает боковая составляющая данной нагрузки, которая учитывается заданием возможного максимального угла отклонения грузового каната от вертикали. Динамическая нагрузка, вызванная ускорением при отрывании груза от земли, учитывается введением коэффициента динамичности. Суммарная нагрузка от веса поднимаемого груза прикладывалась в виде восьми равных сосредоточенных сил в точках контакта колес тележки с нижним поясом стрелы. Расчет проводился для пяти различных вылетов грузозахватного устройства.

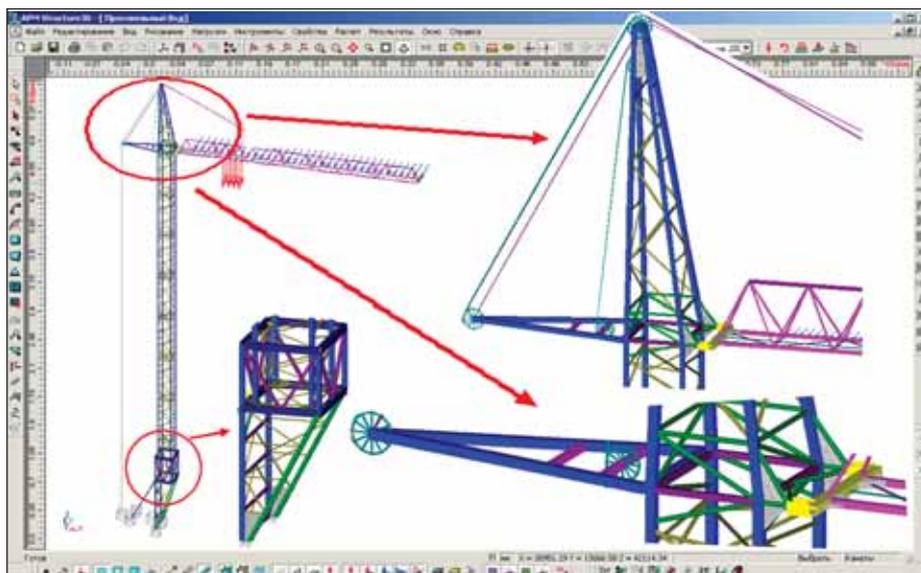


Рис. 1. Базовая модель башенного крана КБМ-401, созданная для отработки качества модели

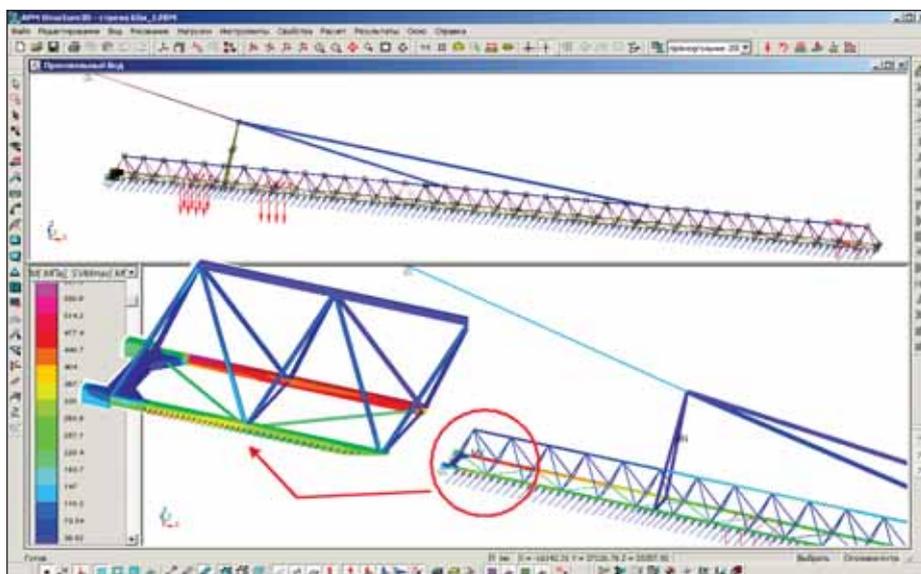


Рис. 2. Модель новой стрелы увеличенной длины, созданная для отработки конструкции по отдельным элементам

Во-вторых, боковая нагрузка от ветра. Ветровая нагрузка задавалась в соответствии со СНиП как равномерно распределенная по нижнему поясу стрелы, обладающему наибольшим поперечным сечением. Раскосы были выполнены из круглой трубы меньшего сечения и обладали более низким аэродинамическим сопротивлением.

И наконец, собственный вес конструкции. Обязательными для ввода исходными данными являются параметры материала (при их выборе помогает встроенная база данных с более чем тысячей записей), а также поперечные сечения элементов (для их задания тоже можно использовать базы, поставляемые вместе с расчетной программой). При наличии этих данных учет веса конструкции системой APM Structure3D производится автоматически.

Поскольку ветровая нагрузка и собственный вес конструкции не зависят от вылета крюка, то они учитываются для всех пяти вариантов нагружения.

При нагружении считалось, что направление ветровой нагрузки и инерционной нагрузки от поворота башни сонаправлены, что соответствует наиболее опасному сочетанию этих нагрузок. Кроме того, APM Structure3D позволяет проводить расчет на сейсмическую устойчивость, обязательный для данных технических устройств.

### Позлементный анализ

Расчет каждого элемента конструкции — стрелы, оголовка, башни и т.д. — можно проводить отдельно для каждого из пяти вариантов загрузки. Для этого в первую очередь проводят расчет стрелы (рис. 2). Полученные реакции в местах крепления стрелы к оголовку яв-

ляются исходными нагрузками для последующего расчета оголовка. Аналогично определяются нагрузки для башни и портала. Такой подход при достаточно высокой скорости выполнения расчета отдельного конструктивного элемента обладает одним существенным недостатком — процесс переноса усилий от модели одного элемента к другому требует временных затрат.

Поэлементный расчет особенно целесообразен при значительной модернизации конструкции по сравнению с исходным вариантом. Это сопряжено с проведением серии расчетов как различных вариантов конструктивных исполнений, так и сечений элементов для обеспечения прочности при минимальной материалоемкости. Одним из важнейших критериев качества, как известно, является обеспечение технологичности модернизированной конструкции, поскольку проектирование новой оснастки для единичного производства экономически не всегда оправданно.

### Прочностной расчет полной модели

Поскольку каждый из элементов конструкции крана является типовым и рассчитан для стандартной модификации, то для расчета целесообразно использовать модели, набранные из этих элементов.

Для конструкций, не требующих значительных технических изменений (к таким конструкциям относятся и модульные системы кранов), расчет полной конструкции крана удобнее расчета отдельных элементов (рис. 3).

### Анализ результатов

После проведения комплекса подготовительных и расчетно-проектных мероприятий можно переходить к обобщению и анализу полученных результатов.

Система APM Structure3D обладает широким спектром возможностей по выводу результатов. Цветные карты распределения напряжений и деформаций, внутренних усилий и коэффициентов запаса по текучести позволяют очень точно и быстро определять в конструкции опасные места (рис. 4). Кроме того, программа позволяет заглянуть внутрь эле-

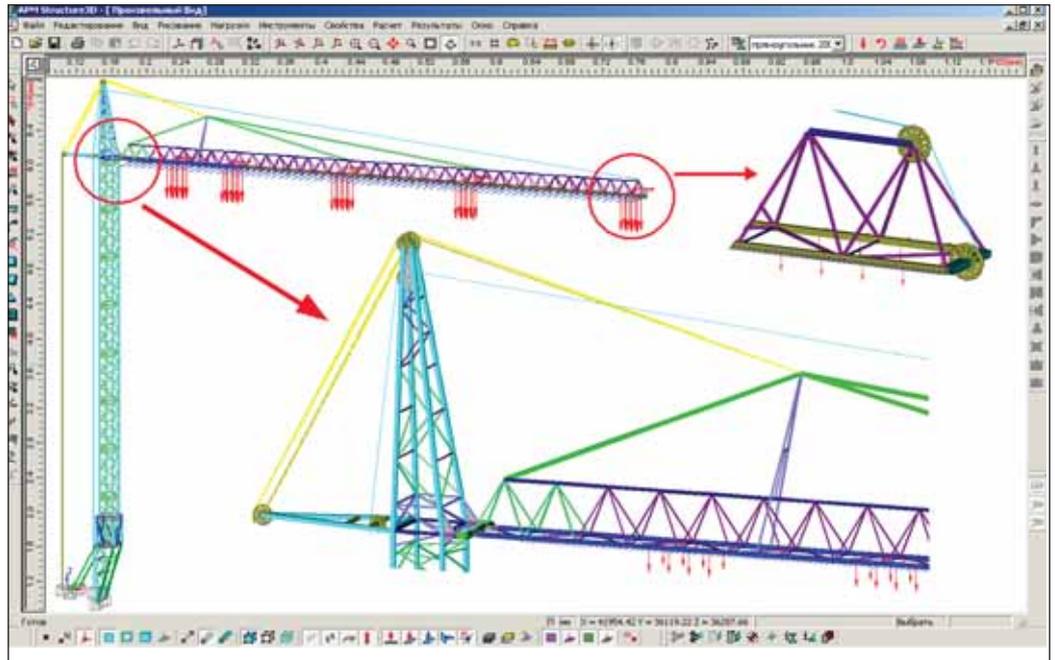


Рис. 3. Новая сборная модель крана, реализованная в соответствии с размерами по требованиям заказчика

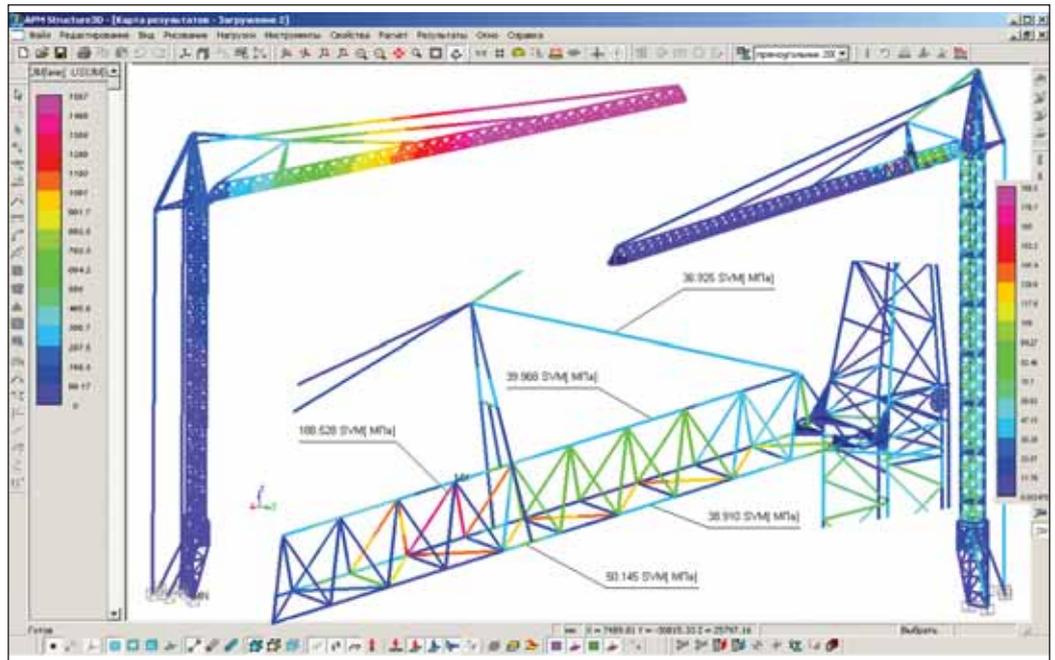


Рис. 4. Результаты расчета модернизированного крана для одного из расчетных случаев

ментов, увидеть их нагружение и возникающие внутренние усилия (рис. 5). Для более полного представления результатов пользователю обеспечена возможность строить эпюры различных силовых факторов на трехмерной модели конструкции, выводить реакции в опорных точках, оценивать общие параметры (такие как масса, максимальные напряжения, перемещения), а также выводить сводную таблицу расхода по элементам металлоконструкции.

Анализ напряженно-деформированного состояния одного из наиболее ответственных элементов конструкции — стрелы — показал, что требуются измене-

ния не только поперечного сечения поясов и раскосов, но и традиционной схемы крепления к верхней секции башни.

Одной из важнейших задач расчета является подбор сечений. Встроенная в APM Structure3D библиотека позволяет задавать стандартные профили сечений, однако в металлоконструкциях зачастую применяется составной профиль — например, сварной короб из равнополочных уголков или дополнительно усиленный профиль. Редактор сечений APM Structure3D предоставляет пользователю гибкие средства создания сечений произвольного вида, а также их импорта из любых сторонних CAD-систем. Состав-

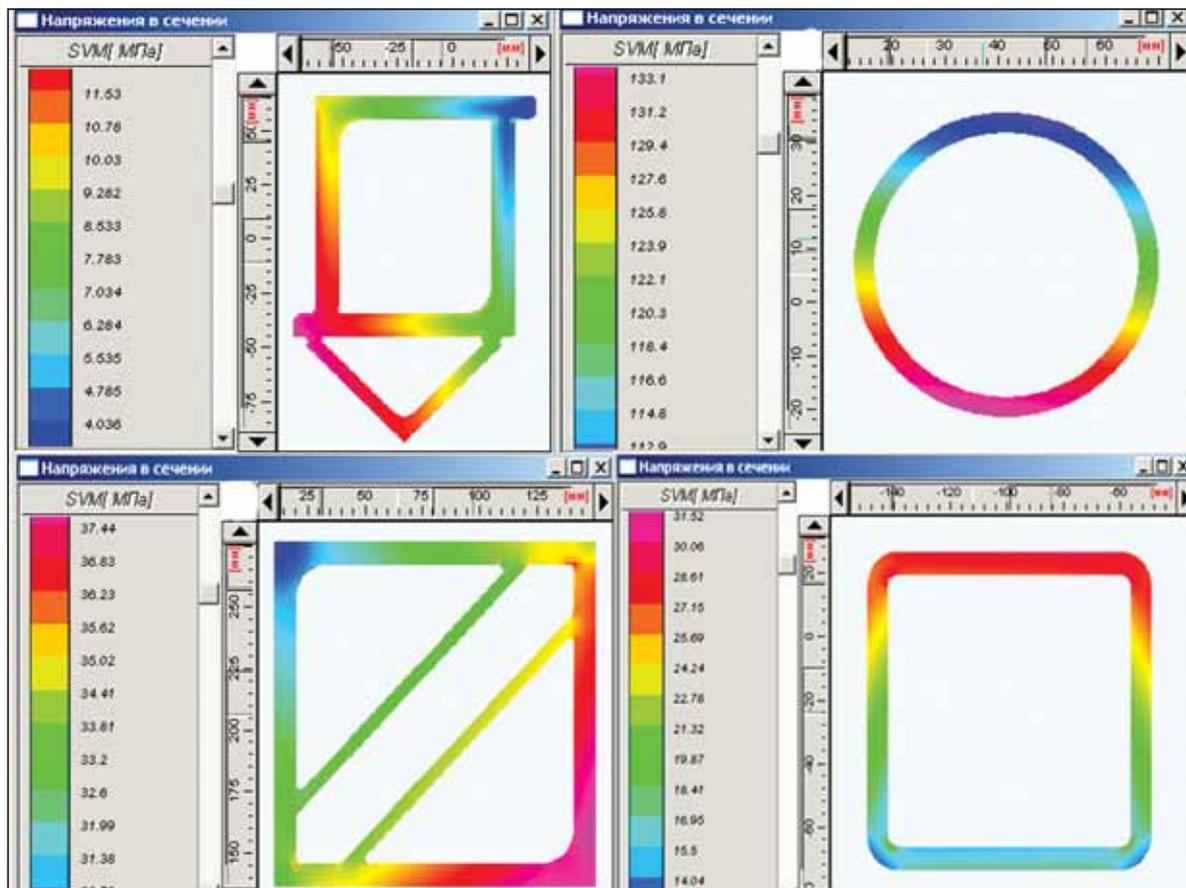


Рис. 5. Карты распределения эквивалентных напряжений в поперечных сечениях элементов металлоконструкции крана

ной профиль также может быть получен с применением параметрической библиотеки сечений.

Выполнив модификации и проведя окончательные расчеты, а также подготовив необходимую конструкторскую документацию, Ухтинский механический завод выпустил первый опытный образец. Необходимые программы испытаний уже проведены и новая продукция сдана заказчику (рис. 6).

На базе модернизированного крана были созданы его исполнения в передвижном и стационарном вариантах.

### Делаем выводы...

Рассматривая первый опыт внедрения специализированных программных продуктов на ЗАО "Ухтинский механический завод", можно сделать вывод, что освоение и применение российской системы автоматизированного проектирования APM WinMachine для проработки технического задания заказчика реально повышает надежность создаваемой техники, а также сокращает временные затраты на реализацию проектов. Применение системы конечно-элементного расчета APM Structure3D дает возможность анализировать различные конструктивные исполнения и варианты нагружения, осуществлять качественную оценку

несущей способности уже на этапе проектирования. Имеющиеся в распоряжении пользователя инструменты позволяют вести проектирование на новом, современном уровне, что повышает оперативность работы и конкурентоспособность продукции предприятия.

*Игорь Забалуев,*  
*технический директор ОАО "Ухтинский*  
*механический завод"*  
*Андрей Алехин,*  
*руководитель филиала НТЦ АПМ в г. Орел*  
*Сергей Розинский,*  
*руководитель отдела продаж НТЦ АПМ*  
*Тел.: (498) 600-2510*

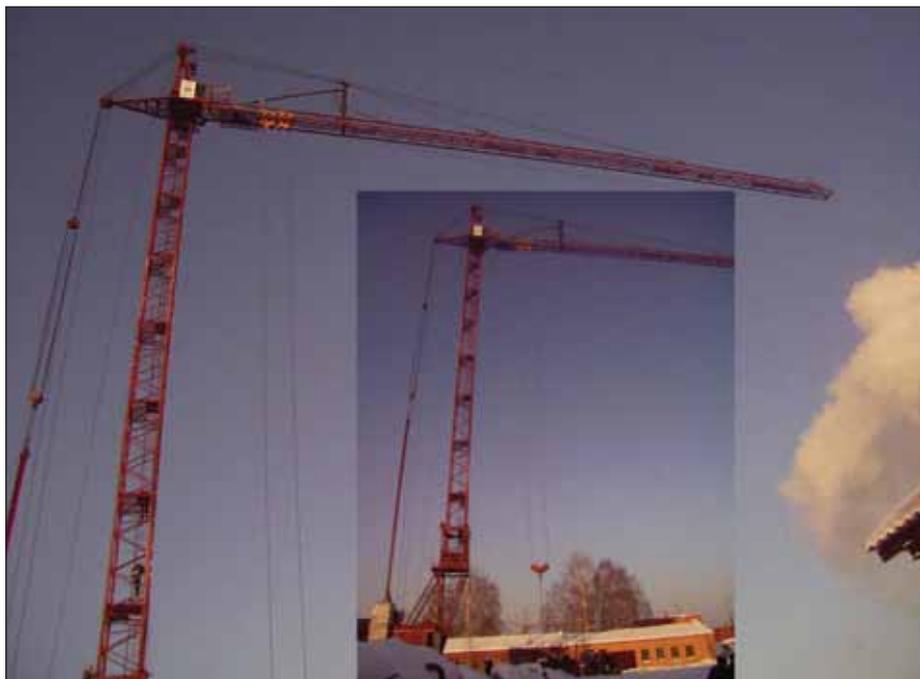


Рис. 6. Модернизированный кран на испытательной площадке