

На правах рукописи

Одерышев Андрей Васильевич

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЖИВУЧЕСТИ
ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ ПОРТАЛЬНЫХ КРАНОВ

Специальность 05.05.04

Дорожные, строительные и подъемно-транспортные машины

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук

Санкт-Петербург,

2001

Работа выполнена в Санкт-Петербургском государственном университете
водных коммуникаций

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Брауде В.И.

Официальные оппоненты доктор технических наук, профессор
Манжула К.П.
кандидат технических наук, доцент
Лейферт Э.Т.

Ведущее предприятие АООТ «Подъемтрансмаш» (С-Петербург)

Защита состоится 18 декабря 2001 года в 16 часов на заседании диссертаци-
онного совета Д212.229.24 при Санкт-Петербургском государственном техни-
ческом университете по адресу:

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, д. 29, кор. I, ауд. 41.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке СПбГТУ.

Автореферат разослан 17 декабря 2001 года.

Ученый секретарь диссертационного совета Д212.229.24

кандидат технических наук, доцент

Смирнов В. Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Несмотря на усиливающуюся тенденцию использования специализированных подъемно-транспортных машин (ПТМ) для перегрузки определенных видов груза, перегрузочные порталные краны (ПК) остаются наиболее распространенным видом портовой техники. Приобретение одного ПК требуют серьезных финансовых затрат.

Как показывают данные по эксплуатации ПК, в ряде случаев возникают чрезвычайные ситуации (ЧС), в результате которых происходят опрокидывания и падения стрел и противовесов, обрыв грузовых канатов, разрушение соседних объектов и т.д. По данным лаборатории грузоподъемных машин (ГПМ) СПГУВК, за 9 лет в 11 портах России и Украины произошли 14 крупных аварий перегрузочных ПК различных типов. Анализ имеющихся статистических материалов показал, что среднее время между авариями находится в пределах 6000 машино-ч. наработки ПК. Тем не менее, затраты на устранение последствий аварий и потери, связанные с ними, весьма значительны.

В настоящее время, возрастает тенденция использования основного оборудования за пределами нормативных сроков службы. В частности, в морских портах эксплуатируется более 80% кранов старше 12 лет и около 40% кранов старше 25 лет. Использование парка машин, выработавших ресурс, приводит к возрастанию количества аварийных отказов.

Повышаются требования к безопасности эксплуатации оборудования при производстве работ. Подвижные части элементов конструкции и механизмов ПК, возможность разрушений конструкций кранов представляют собой опасные производственные факторы, а объекты, на которых используются грузоподъемные механизмы, относятся к категории опасных производственных объектов.

Поэтому, при создании современных ПК и при модернизации существующих, целесообразно на основе новейших методик определять показатели на-

дежности и живучести ПК, позволяющие прогнозировать безаварийную работу кранов.

В настоящее время, отсутствует адекватная методика оценки живучести ПК. В связи с этим, необходимо разработать методику оценки живучести перегрузочных ПК, предусмотрев ряд инженерных мероприятий по повышению характеристик живучести кранов.

Целью диссертационного исследования является разработка методики, позволяющей по состоянию отдельных элементов и узлов при ЧС оценить характеристики живучести крана. При этом решены следующие задачи:

- определены ответственные элементы крана, т. е. такие элементы, разрушение которых приводит к аварии;
- составлен перечень возможных видов ЧС. Для исследования, в работе выбраны наиболее часто встречающиеся и наиболее опасные из них;
- проведен анализ существующих методов расчета кранов и нагрузок на их элементы и обоснована необходимость расчета элементов крана на живучесть;
- разработана модель нагружения ПК при вышеперечисленных видах ЧС, с помощью которой получены реализации нагрузок в ответственных элементах крана;
- отобран ряд параметров ПК и его элементов (факторов влияния), оказывающих наибольшее влияние на величины максимальных нагрузок в ответственных элементах ПК при ЧС и на характеристики живучести крана.
- разработана методика определения вероятностных характеристик максимальных нагрузок в ответственных элементах ПК при ЧС, ряд этапов которой реализован программно;
- предложены показатели живучести ПК и методики их определения.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- разработана методика определения максимальных нагрузок в элементах ПК при ЧС, включающая построение модели ПК и имитационное моделирование процессов нагружения в элементах крана при ЧС;

- разработана классификация ЧС и выполнен анализ их возможных видов;
- составлены регрессионные зависимости для определения максимальных нагрузок в ответственных элементах ПК при ЧС;
- предложены показатели живучести ПК и методы их определения.

Практическая ценность заключается в следующем:

- разработана модель нагружения ПК при ЧС, позволяющая определять максимальные нагрузки в ответственных элементах крана;
- составлены пакеты программ по подготовке и проведению машинного эксперимента для определения максимальных нагрузок в ответственных элементах ПК при ЧС, а также для обработки результатов опытов с целью получения регрессионных зависимостей;
- определены параметры крана и его элементов, оказывающие влияние на величины максимальных нагрузок в ответственных элементах ПК при рассматриваемых ЧС (факторы влияния);
- получены регрессионные зависимости между величинами максимальных нагрузок в ответственных элементах ПК при ЧС и факторами влияния;
- предложен перечень показателей живучести ПК и методы их определения;
- предложены возможные пути повышения характеристик живучести ПК.

Методы исследования. В процессе работы над диссертацией применялись методы классической теории вероятностей и математической статистики, статистической обработки результатов опытов и т.д.

Работа выполнена с использованием статистических материалов, собранных лабораторией ГПМ СПГУВК.

Методами экспертных оценок определены виды исследуемых ЧС и проведен предварительный отбор параметров крана и его элементов, оказывающих влияние на величины максимальных нагрузок при ЧС.

Достоверность основных научных положений, выводов и рекомендаций обоснована соответствующими доказательствами, базирующимися на законах механики и математики, данных статистики, и непротиворечивостью основных

итогах работы. Также, выполнен сравнительный анализ данных, полученных в результате моделирования, с известными ранее.

На защиту выносятся:

- комплекс показателей живучести, предложенных для ПК и методы их определения;
- математическая модель для определения нагрузок в элементах ПК при рассматриваемых ЧС;
- методика построения регрессионных зависимостей, включающая в себя проведение машинных экспериментов по моделированию ЧС и анализ результатов моделирования;
- комплекс программных средств, предназначенный для определения показателей живучести элементов ПК;
- регрессионные зависимости, позволяющие определять максимальные нагрузки, возникающие в ответственных элементах ПК при рассматриваемых ЧС.

Апробация работы. Результаты исследований по теме диссертационной работы докладывались и обсуждались на Всероссийских научно- методических конференциях, проходивших в Санкт-Петербургском государственном университете водных коммуникаций в 1994 и в 1996 годах, а также на международной научно-технической конференции «Транском – 97» в Санкт- Петербурге в 1997г. Результаты работы докладывались на ведущем предприятии АООТ «Подъемтрансмаш». Разработанная методика оценки живучести ПК рекомендована бюро порталных кранов к применению при проектировании перегрузочных ПК и модернизации существующих кранов. Предложены меры, способствующие повышению показателей живучести ПК.

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликованы две статьи в сборнике научных трудов Санкт-Петербургского государственного университета водных коммуникаций, а также тезисы докладов Всероссийских научно- методических конференций, проходивших в Санкт-Петербургском го-

сударственном университете водных коммуникаций в 1994 и в 1996 годах, и международной научно-технической конференции «Транском – 97».

Структура и объем диссертации Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем работы составляет 159 страниц, в том числе рисунков 33, таблиц 32; список литературы из 125 наименований на 10 страницах; приложения на 125 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы, формулируются цели, а также приведена общая характеристика работы с определением ее научной новизны и практической ценности, также изложено краткое описание содержания глав диссертации.

В первой главе сформулирована задача оценки живучести ПК. В начале главы приведены основные понятия и определения теории живучести, использующиеся в диссертации.

Под живучестью ПК, в настоящей работе, подразумевается свойство, состоящее в исключении аварий и катастроф при возникновении ЧС. Аварией называется отказ крана, после которого его базовые элементы, объекты окружающей среды или ПК в целом требуют капитального ремонта или не подлежат восстановлению. Катастрофа – это авария, приводящая к гибели людей или причиняющая серьезный ущерб их здоровью. Случаи, когда происходит нарушение нормальных условий эксплуатации, вызывающие повышение нагрузок на элементы крана или резкое снижение несущей способности его элементов, не предусмотренные нормами технической эксплуатации (ТЭ), называются ЧС.

Выполнен подробный анализ видов ЧС и приведена их классификация, а также обоснован выбор видов ЧС, исследующихся в работе. Путем опросов работников портов, анализа причин и эксплуатационных данных об авариях ПК, установлены наиболее опасные и наиболее часто встречающиеся виды ЧС. Таковыми являются наезд стрелы на буфер МИВ, наезд портала крана на концевые упоры и удар ГЗУ по точке его подвеса.

Рассмотрен процесс нарастания разрушений элементов крана при аварии и определены ответственные элементы ПК. Ответственными элементами ПК являются элементы крана, разрушение которых приводит к аварии. Сначала, в качестве ответственных элементов выбираются крупные элементы конструкции крана и узлы механизмов, разрушение которых приводит к аварии. Они определяются с учетом информации об авариях кранов и причинах, их вызвавших. Расчеты живучести являются проверочными, которые выполняются после проведения традиционных расчетов на прочность, устойчивость, циклическую прочность и т.д. Расчеты вероятности не разрушения крупных элементов конструкции или узлов крана производятся в опасных сечениях и точках, определенных по результатам традиционных расчетов, разрушение в которых наиболее вероятно из-за малых запасов прочности. Опасные сечения и точки крупных элементов крана выбраны в качестве ответственных элементов ПК, подлежащих расчету на живучесть.

Изложено состояние проблемы оценки живучести машин в настоящее время. Сделан обзор литературы по этой проблеме и проблеме надежности машин. Основываясь на обзоре, сделан вывод о недостаточной проработке вопросов, связанных с оценкой живучести ПК.

Обобщая опыт предыдущих исследований по этим проблемам, для оценки живучести крана рассмотрена возможность использования следующих показателей: вероятности сохранения живучести ПК и среднего времени между авариями. В тех случаях, когда известны номенклатура видов ЧС и вероятности их возникновения, вероятность сохранения живучести ПК определяется по формуле:

$$\nu(\tau) = P_0(\tau) + \sum_{i=1}^N P_i(\tau) \cdot \nu_i, \quad (1)$$

где $P_0(\tau)$ - вероятность того, что ЧС не возникнет за время τ , $P_i(\tau)$ - вероятность возникновения хотя бы одной ЧС i -го вида, N - количество видов ЧС, ν_i - вероятность сохранения живучести при возникновении ЧС i -го вида.

Вероятность сохранения живучести при возникновении ЧС i -го вида определяется как

$$v_i = \prod_{j=1}^k P_j(S_j^{\max} < R_j). \quad (2)$$

Здесь P_j – вероятность непревышения максимальной нагрузкой в j -ом ответственном элементе ПК ($S_j^{\max}$) несущей способности этого элемента (R_j), k – количество рассчитываемых ответственных элементов ПК.

Разработана более простая методика оценки живучести ПК через коэффициент запаса живучести ПК. Коэффициент запаса живучести ПК определяется по формуле

$$K_v = \prod_{i=1, N} K_{vi}, \quad (3)$$

где K_{vi} – коэффициент запаса живучести по i – му виду ЧС, определяющийся как отношение вероятности сохранения живучести по каждому виду ЧС исследуемой машины к вероятности сохранения живучести по каждому виду ЧС крана-эталона (v_i^3). Вместо v_i^3 возможно использование нормативных вероятностей сохранения живучести по каждому виду ЧС ($[v_i]$). Коэффициент запаса живучести по i – му виду ЧС определяется по формуле

$$K_{vi} = \frac{v_i}{v_i^3} \text{ или } K_{vi} = \frac{v_i}{[v]}. \quad (4)$$

В качестве эталона следует принимать тип ПК, аварии на котором происходят наименее часто.

Условием сохранения живучести является превышение коэффициентом величины $1+a$, где величина a выбирается равной 0.1 и более, как доля минимального запаса прочности элементов, рекомендуемая для случаев особых нагрузок. Здесь a – доля запаса живучести, учитывающая несовершенство методов расчета.

Кроме того, коэффициент запаса живучести может служить для сравнительной оценки двух типов кранов. В этом случае, в качестве крана-эталона выбирают один из кранов. Если величина коэффициента запаса живучести превы-

сит единицу, кран, выбранный в качестве эталона, обладает худшими характеристиками живучести.

Ниже представлены этапы методики определения коэффициента запаса живучести.

Первый этап состоит в установлении наиболее часто встречающихся и наиболее опасных видов ЧС, характерных для данного крана. На этом этапе, на основании данных о возникающих при работе ПК ЧС или путем опросов инженерных работников портов, составляется перечень возможных для данного крана видов ЧС. По нему отбираются наиболее опасные и наиболее часто встречающиеся виды ЧС.

На втором этапе методики определяются ответственные элементы ПК.

На третьем этапе производятся расчеты максимальных нагрузок в ответственных элементах ПК при ЧС. Они осуществляются по регрессионным зависимостям, представленным в диссертационной работе. Регрессионные зависимости отражают связь между максимальными нагрузками в ответственных элементах ПК при ЧС и параметрами крана и его элементов, выбранными в качестве факторов влияния. В качестве факторов влияния выбраны такие параметры крана и его элементов, которые оказывают наибольшее воздействие на величины максимальных нагрузок при ЧС. В особо ответственных случаях, для расчета нагрузок, необходимо выполнять моделирование процессов нагружения в элементах крана при ЧС с использованием предложенной автором модели. Моделирование ЧС и составление уравнений регрессии осуществляется, при необходимости, на четвертом и пятом этапах.

Четвертый этап состоит в подготовке машинных экспериментов для построения регрессионных зависимостей. Факторы влияния выбираются методами экспертных оценок. Затем, определяются моделируемые случаи ЧС. Такими случаями, требующими отдельного исследования, являются наезды (удары) элементов ПК, совершаемые по инерции, при работе электродвигателей механизмов и при торможении.

Пятый этап заключается в проведении машинных экспериментов и обработке результатов моделирования. При неверном выборе факторов процедура их отбора и эксперимент повторяются. Затем, составляются регрессионные зависимости.

На шестом этапе, численными методами на ЭВМ, по полученным регрессионным зависимостям устанавливаются параметры распределений максимальных нагрузок в элементах ПК при различных ЧС. Распределения максимальных нагрузок аппроксимируются нормальными усеченными законами.

На седьмом этапе, по зависимостям (1)-(4) определяется коэффициент запаса живучести и производится оценка живучести ПК.

Вторая глава посвящена методам расчета максимальных нагрузок в ответственных элементах ПК при ЧС.

С учетом анализа предыдущих работ и информации об эксплуатации ПК, составлена дискретная расчетная схема крана (рис. 1), движение которой описывается системой дифференциальных уравнений 42-го порядка.

Одно из этих уравнений приведено ниже.

$$\begin{aligned}
 & (m_{ног} + m_{nn} + m_c + m_{xc} + m_{zx} + m_x + m_k) \cdot x''_{ног} + ((m_{nn} + m_c + m_{xc} + m_{zx} + m_x + m_k) \times \\
 & \times l_n \cdot \cos \varphi_n - (m_c + m_{xc} + m_{zx} + m_x) \cdot a \cdot \sin \varphi_n + m_k \cdot b \cdot \sin \varphi_n) \cdot \varphi''_n + ((m_c + m_{xc} + \\
 & + m_{zx} + m_x) \cdot l_{nc} \cdot \cos \varphi_{nc}) \cdot \varphi''_{nc} + (m_{xc} + m_{zx} + m_x) \cdot l_{vc} \cdot \cos \varphi_{vc} \cdot \varphi''_{vc} - m_{zx} \cdot l_{zx} \cdot \cos \varphi_{zx} \times \\
 & \times \varphi''_{zx} + m_x \cdot l_x \cdot \cos \varphi_{xy} \cdot \varphi''_{xy} + m_k \cdot l_k \cdot \cos \varphi_k \cdot \varphi''_k = (m_{nn} + m_c + m_{xc} + m_{zx} + m_x + m_k) \times \\
 & \times l_n \cdot \sin \varphi_n \cdot \varphi'^2_n + (m_c + m_{xc} + m_{zx} + m_x) \cdot a \cdot \cos \varphi_n \cdot \varphi'^2_n - m \cdot b \cdot \cos \varphi_n \cdot \varphi'^2_n + (m_c + \\
 & + m_{xc} + m_{zx} + m_x) \cdot l_{nc} \cdot \sin \varphi_{nc} \cdot \varphi'^2_{nc} - (m_{xc} + m_{zx} + m_x) \cdot l_{vc} \cdot \sin \varphi_{vc} \cdot \varphi'^2_{vc} - m_{zx} \cdot l_{zx} \times \\
 & \times \sin \varphi_{zx} \cdot \varphi'^2_{zx} + m_x \cdot l_x \cdot \sin \varphi_{xy} \cdot \varphi'^2_{xy} - m_k \cdot l_k \cdot \sin \varphi_k \cdot \varphi'^2_k + k_{дв} \cdot P_{Vkp} + c_{лн12} \cdot (x_{1л} + \\
 & + x_{1н} + x_{2л} + x_{2н} - 4 \cdot x_{ног}) + (1 - k_{нок}) \cdot c_{кан} \cdot \sqrt{(x_z^2 + y_z^2 + z_z^2) \cdot (1 - k_{нок})} - l_{МП} \cdot k_{ок} \times \\
 & \times \frac{x_z}{\sqrt{x_z^2 + y_z^2 + z_z^2}} - \mu_{лн12} \cdot (x'_{1л} + x'_{1н} + x'_{2л} + x'_{2н} - 4 \cdot x'_{ног}) - (1 - k_{нок}) \times \\
 & \times \mu_{кан} \cdot k_{ок} \cdot \frac{(x_z \cdot x'_z + y_z \cdot y'_z + z_z \cdot z'_z)}{(1 - k_{нок}) \cdot \sqrt{x_z^2 + y_z^2 + z_z^2} + l'_{МП}} \cdot \frac{x_z}{\sqrt{x_z^2 + y_z^2 + z_z^2}}
 \end{aligned}$$

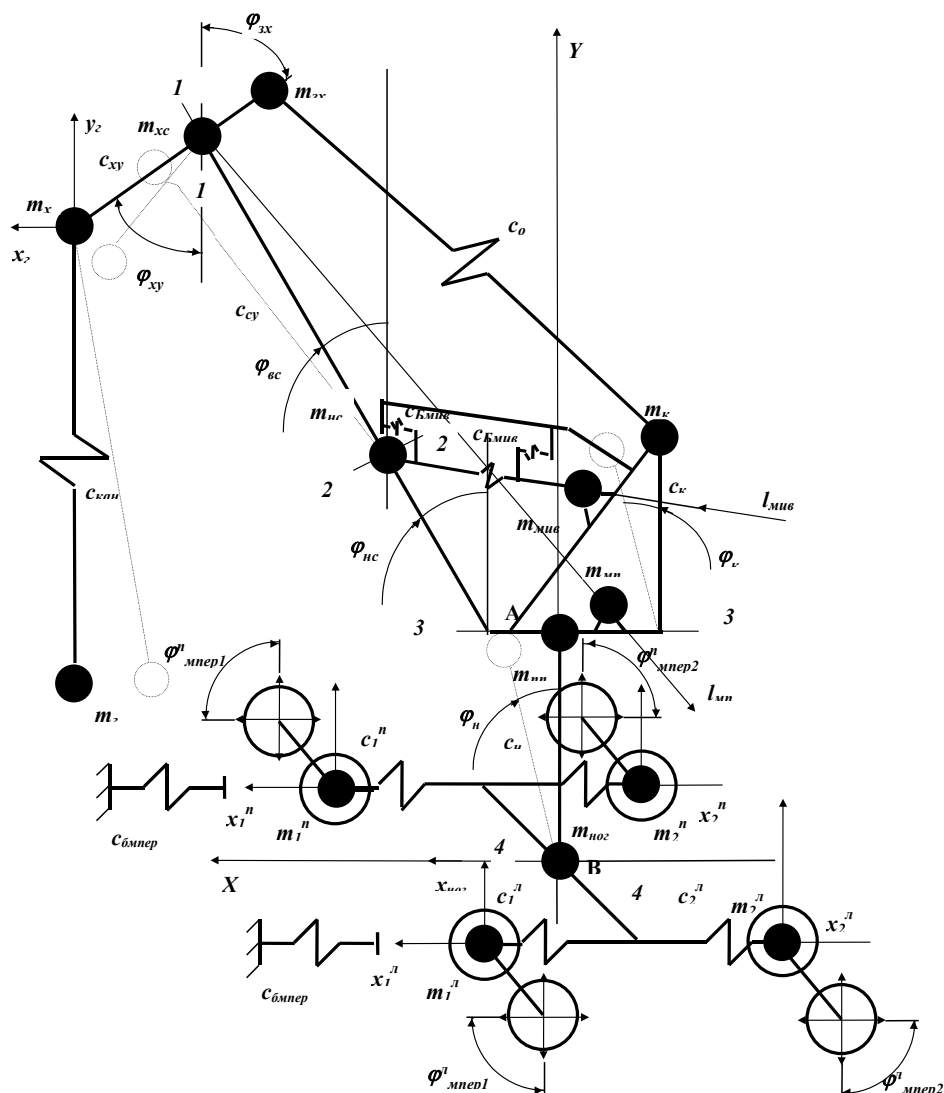


рис. 1 Расчетная схема ПК.

В результате численного решения системы уравнений методом Рунге-Кутты и последующей обработки массивов координат дискретных масс получены реализации процессов нагружения в упругих звеньях модели.

Сравнивая периоды колебаний в упругих звеньях ПК, полученных по данным испытаний кранов, а также литературным источникам, и колебаний, полученных при моделировании, необходимо отметить, что их значения достаточно близки. При сравнении величин максимальных нагрузок, возникающих в элементах ПК при ЧС, полученных с помощью моделей предыдущих исследователей, приспособленных к расчету нагрузок при ЧС, и разработанной модели, установлено, что в режиме проверки адекватности они отличаются не более чем на 10%.

В третьей главе приведено описание машинных экспериментов по моделированию ЧС. Целью экспериментов является построение регрессионных зависимостей между максимальными нагрузками в ответственных элементах ПК при ЧС и факторами влияния. Общее количество параметров крана и его элементов достаточно велико. Поэтому, предварительно проводилось ранжирование параметров по степени их влияния на нагрузки. В результате чего, были отобраны группы факторов с наивысшими рангами, числом не более 12, для каждого вида ЧС. Результаты опытов на ЭВМ обработаны методами математической статистики в следующем порядке.

Проверена неслучайность влияния факторов по условию

$$G_p \leq G, \quad (5)$$

где G_p - расчетное, G - критическое значение критерия Кохрена.

Подтверждена слабая нелинейность связи между факторами и максимальными нагрузками в ответственных элементах крана по условию

$$\eta - r \leq 0.1, \quad (6)$$

где η - коэффициент корреляции, а r – линейный коэффициент корреляции.

Построены регрессионные зависимости между максимальными нагрузками (Y) в ответственных элементах ПК при ЧС и факторами влияния (x_i):

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^N b_i \cdot x_i + \sum_{i \neq j} b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j, \quad (7)$$

где i и j – номера факторов влияния, b_0 , b_i , $b_{i,j}$ - коэффициенты уравнения регрессии, x_i , x_j - факторы влияния, N - количество факторов влияния.

Определена значимость регрессоров по условию

$$t_p > t, \quad (8)$$

где t_p и t - расчетное и критическое значения критерия Стьюдента.

Весь процесс проведения экспериментов и обработки данных автоматизирован пакетом программ. Блок-схема пакета приведена на рис. 2.

Для инженерных целей, задаваясь величиной погрешности результатов 10%, составлены аппроксимирующие зависимости для максимальных нагрузок, например:

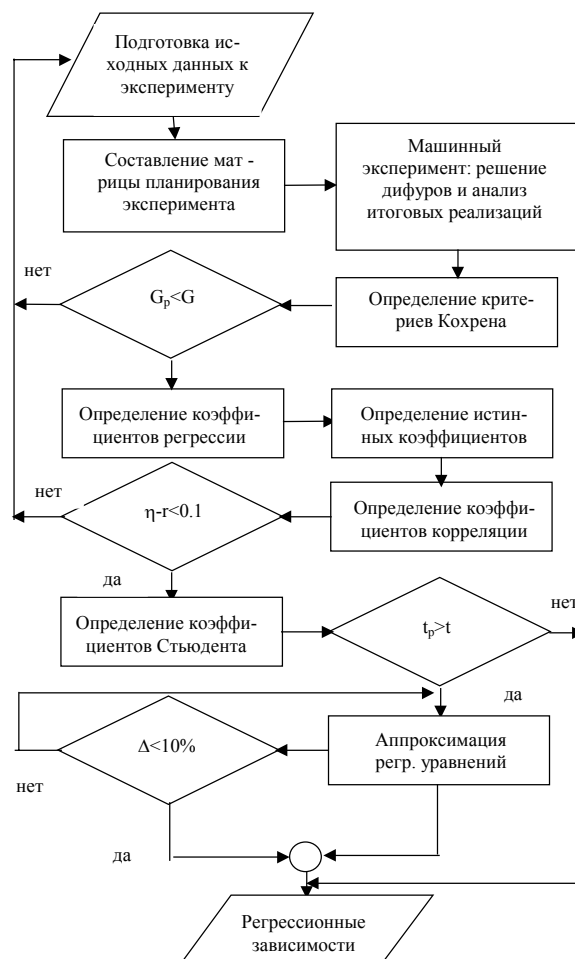


рис. 2 Блок-схема машинного эксперимента по моделированию ЧС и обработки его результатов.

$S_{cy} = -14720610 \cdot 21 \text{ E-06 } x_1 x_2 x_3 x_4 - 174 \text{ E-03 } x_1 x_3 x_4 + 1766 \text{ E-03 } x_2 x_3 x_4 + 241 \text{ E-03 } x_1 x_2 x_3 + 72 \text{ E-02 } x_1 x_2 x_4 - 2.23479 x_1 x_2 - 6.39 x_1 x_4 + 6.77 x_2 x_3 - 2.4 x_3 x_4 + 534 x_1 x_3 - 17.1 x_2 x_4 - 4645 \text{ E+05 } x_2 + 17 \text{ E+05 } x_1 - 328 \text{ E+04 } x_3 - 488.9312 x_4 + 1.37 x_6 - 3452 \text{ E+04 } x_3 x_5 - 15 \text{ E-04 } x_3 x_7 - 17.259 x_1 x_2 x_5 - 0.087 x_5 x_7 - 216 \text{ E-03 } x_1 x_6 + 255 x_7 + 103348 x_2 x_5 - 14 \text{ E-03 } x_4 x_6$.

Здесь S_{cy} – максимальный изгибающий момент, возникающий в стреле в сечении 2-2 (рис. 1) при наезде стрелы по инерции на буфер МИВ на максимальном вылете, x_1 – масса хобота, x_2 – масса стрелы, x_3 – масса МИВ, x_4 – момент инерции вращающихся частей МИВ, x_5 – коэффициент жесткости стрелы, x_6 – коэффициент жесткости рейки МИВ, x_7 – коэффициент жесткости буфера МИВ.

В четвертой главе решена задача перехода к вероятностным характеристикам максимальных нагрузок в ответственных элементах ПК при ЧС по полученным зависимостям и известным параметрам распределений факторов влияния.

Максимальные нагрузки, возникающие в ответственных элементах ПК при ЧС, представляют собой случайные величины. Т.к. число членов регрессионных зависимостей велико, то для определения вероятностных характеристик максимальных нагрузок целесообразно воспользоваться поэтапным решением на ЭВМ. К числу этапов относятся: разбиение интервалов вариации членов уравнений на конечное число отрезков и определение соответствующих отрезкам частот попаданий случайной величины в этот интервал, составление статистических рядов для максимальных нагрузок в ответственных элементах ПК, аппроксимация полученных статистических рядов усеченными нормальными законами распределения, проверка выбранных гипотез распределения максимальных нагрузок по критерию Пирсона.

Проведенные исследования показали, что распределения максимальных нагрузок удовлетворительно аппроксимируются усеченными нормальными законами (рис. 3).

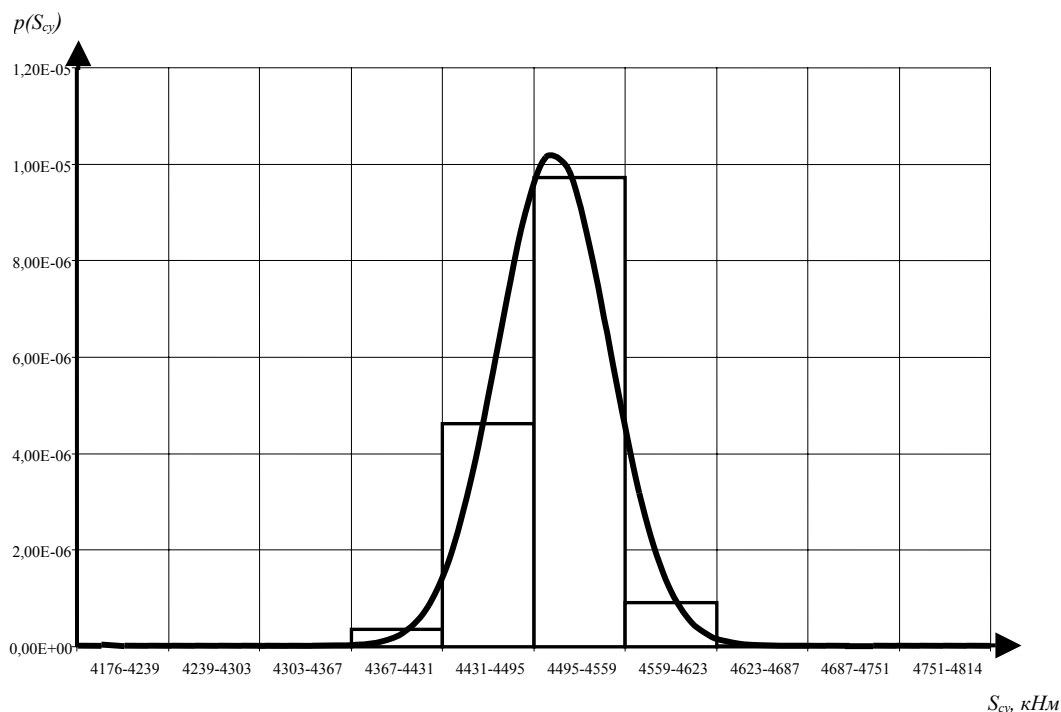


рис. 3 Гистограмма и плотность распределения вероятностей максимального изгибающего момента в стреле.

Полученные параметры распределений (МО, СКО, нормирующие коэффициенты) приведены в диссертационной работе в виде таблиц.

Для дальнейших расчетов введена случайная величина резерва прочности

$$r = R - F. \quad (9)$$

Ее математическое ожидание (МО) и дисперсия равны соответственно

$$\langle r \rangle = \langle R \rangle - \langle F \rangle, \quad (10)$$

$$\sigma_r^2 = \sigma_R^2 + \sigma_F^2, \quad (11)$$

где R и F – соответственно, несущая способность и максимальная нагрузка в расчетном элементе.

До расчета на живучесть необходимо убедиться известными методами, что образования и развития макротрещин в элементе не будет. Если проверка показывает, что трещина может возникнуть, то в расчеты живучести вводится специальный коэффициент, учитывающий уменьшение геометрических параметров элемента. Тогда, зависимости (9)-(11) примут вид

$$r = R_a - F, \quad (9^*)$$

$$\langle r \rangle = \langle R_a \rangle - \langle F \rangle, \quad (10^*)$$

$$\sigma_r^2 = \sigma_{Ra}^2 + \sigma_F^2, \quad (11^*)$$

где R_a – несущая способность расчетного элемента с уменьшенным геометрическим фактором. Она равна $R_a = a_R \cdot R$, а a_R – коэффициент, учитывающий снижение несущей способности элемента при уменьшении его геометрического фактора из-за появления макротрещин. Коэффициент снижения несущей способности определяется с учетом максимальных размеров возможных макротрещин, которые, в свою очередь, рассчитываются по известным методикам. МО и дисперсия несущей способности элемента определяются по формулам

$$\langle R_a \rangle = a_R \cdot \langle R \rangle, \quad (12)$$

$$\sigma_{Ra}^2 = \frac{\sigma_R^2}{a_R^2}. \quad (13)$$

Возможное снижение несущей способности из-за износа, коррозии и пр. учитывается аналогично.

Тогда, вероятность непревышения максимальной нагрузкой несущей способности равна

$$p(S^{\max} \leq R) = \int_0^{r_{\max}} f(r) dr, \quad (14)$$

где $f(r)$ – плотность распределения резерва прочности ответственных элементов ПК при ЧС, которая определяется по формуле

$$f(r) = c \cdot \frac{\exp\left(-\frac{(r - \langle r \rangle)^2}{2 \cdot \sigma_r^2}\right)}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma_r^2}}. \quad (15)$$

Здесь c – нормирующий коэффициент, равный произведению нормирующих коэффициентов для несущей способности и максимальной нагрузки в элементе.

Анализируя формулы (1)-(4) и (9)-(14) для определения показателей живучести ПК, а также регрессионные зависимости между максимальными нагрузками в ответственных элементах ПК при ЧС и факторами влияния, целесообразно наметить пути (способы) для снижения вероятности возникновения аварий при эксплуатации ПК.

Первый способ заключается в снижении вероятности возникновения ЧС. Достичь этого можно за счет ряда конструкторских и технологических мероприятий. К ним относятся дублирование концевых выключателей (КВ).

Второй способ – снижение количества ответственных элементов, что достигается при использовании безопасных и безопасно повреждаемых конструкций крана.

Третий способ заключается в повышении несущей способности ответственных элементов ПК. По результатам расчетов на живучесть определяются ответственные элементы ПК, для которых высока вероятность разрушения при ЧС. Предпринимаемые меры состоят в увеличении запаса прочности (устойчивости) этих элементов до заданной величины.

Четвертый способ – снижение максимальных нагрузок при ЧС в ответственных элементах ПК. Рассматривая картину нагружений ответственных эле-

ментов при ЧС, необходимо отметить, что максимум нагрузок в элементах возникает не сразу, а в результате сложного взаимодействия процессов колебаний в различных элементах крана. Колебания в стреловой системе существенно влияют на нагрузки в других звеньях. Демпфирование стреловой системы (рейки МИВ) способствует снижению уровня нагрузок и усилению затухания колебаний в элементах ПК.

Пятый способ - снижение разброса параметров ПК и его элементов, оказывающих значительное влияние на величины максимальных нагрузок при ЧС. Снижение разброса параметров осуществляется путем повышения качества изготовления, сборки и монтажа элементов ПК.

Шестой способ заключается в снижении разброса несущей способности ответственных элементов ПК. Это достигается при использовании материалов более высокого качества для изготовления этих элементов и повышении качества их изготовления и сборки.

Некоторые дополнительные мероприятия предложены в работе [5].

По представленной выше методике для рассматриваемой модели крана (КПП 16 – 30 – 10.5) определены вероятности сохранения живучести при ЧС. Результаты расчета приведены в диссертационной работе в табличной форме.

ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. В качестве основных показателей, предназначенных для оценки живучести ПК, предложены вероятности сохранения живучести ПК при ЧС и коэффициент запаса живучести.
2. По данным об эксплуатации ПК и в результате опросов работников портов составлен перечень эксплуатационных ЧС. Для исследования выбраны наиболее опасные и наиболее часто встречающиеся ЧС.
3. Разработана методика определения максимальных нагрузок в элементах ПК при ЧС, включающая построение модели ПК и имитационное моделирование процессов нагружения в элементах крана при ЧС. Проведена проверка адекват-

ности модели, проходившая в два этапа. Разработанная модель легко адаптируется к расчету различных видов ЧС.

4. Проведен отбор факторов влияния, т.е. параметров крана и его элементов, оказывающих наибольшее влияние на величины максимальных нагрузок в ответственных элементах ПК при ЧС. Отбор проводился путем предварительного ранжирования и с последующей проверкой неслучайности выбора по критерию Кохрена.

5. Установлены связи в виде регрессионных зависимостей между максимальными нагрузками в ответственных элементах ПК при ЧС и факторами влияния путем обработки результатов планируемых машинных экспериментов.

6. Составлены программы, с помощью которых автоматизирован процесс подготовки, проведения экспериментов и обработки результатов опытов.

7. Определены распределения максимальных нагрузок в ответственных элементах ПК при ЧС. Определение распределений максимальных нагрузок производилось численными методами на ЭВМ, по полученным регрессионным зависимостям.

8. Предложен ряд способов, способствующих повышению характеристик живучести крана.

9. Разработана методика оценки живучести ПК с использованием коэффициента запаса живучести.

10. Проведен расчет показателей живучести крана КПП 16-30-10.5 и его элементов по предложенной методике.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Одерышев А.В. Определение нагрузок в элементах portalного крана в чрезвычайных ситуациях. // Материалы Всероссийской научно-технической конференции (Тезисы докладов). – СПб.: СПГУВК, 1994. с.171
2. Одерышев А.В. Динамическая модель для определения нагрузок в элементах portalного крана при возникновении чрезвычайных ситуаций. // Высшее об-

разование в современных условиях. 2 ч. Тез. Всерос. научн. - метод. конф. –СПб.: СПГУВК, 1996. с.198–199

3. Одерышев А.В. Исследование порталых кранов в чрезвычайных ситуациях. // Управление и информационные технологии на транспорте. (Тезисы докладов межд. научно-технической конференции «Транском-97»). –СПб.: СПГУВК, 1997. с.59–61

4. Одерышев А. В. Методика определения показателей живучести порталых кранов. / В сб. Судостроение и судоремонт. – СПб.: СПГУВК, 1999. с. 164-166

5. Одерышев А. В. Пути повышения живучести порталых кранов. / В сб. Судостроение и судоремонт. – СПб.: СПГУВК, 1999. с. 167-171