

РАЗДЕЛ III

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

УДК 621.87:681.5

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОСНОВНЫХ МЕХАНИЗМОВ МОСТОВЫХ КРАНОВ

Н. С. Галдин, О. В. Курбацкая, С. В. Ерёмина
ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Россия, г. Омск.

Аннотация. В данной статье доказано, что компьютерное моделирование механизмов, узлов и деталей мостовых кранов является важным элементом формирования оптимальных проектных решений конструкций в системах их автоматизированного моделирования. Приведен алгоритм проектирования мостового крана, выявлены функциональные зависимости энергетических характеристик механизмов передвижения и подъема груза.

Ключевые слова: мостовой кран, механизмы, полезная мощность, компьютерное моделирование.

Введение

Для повышения эффективности и рентабельности производства, транспорта и других отраслей экономики необходимо повсеместное внедрение механизации, а по возможности, и комплексной автоматизации. При проведении тяжелых трудоемких работ по перегрузке, транспортировке и складированию большая роль в процессе автоматизации принадлежит мостовым кранам, включению их в различные технологические операции и циклы. Мостовые (балочные) краны общего назначения, снабженные в основном грузовым крюком, предназначены для выполнения массовых погрузочно-разгрузочных работ по перемещению грузов различных категорий [1 – 6].

Повышение эффективности проектирования, изготовления и эксплуатации механизмов, узлов и деталей подъемно-транспортных машин является важной научно-технической задачей. От эффективности работы механизмов передвижения и подъема груза кранов зависит их производительность, безопасность производства работ, надежность крана в целом.

На современном этапе развития техники и технологий проектирование подъемно-транспортных машин и их эффективная эксплуатация невозможна без применения ЭВМ.

Оптимальное проектирование на ЭВМ механизмов мостовых кранов способствует снижению их массы, габаритных размеров, повышению КПД и надежности.

Компьютерное моделирование основных механизмов мостовых кранов

В зависимости от назначения мостового крана на тележке можно размещать различные типы механизмов подъема или два механизма подъема, один из которых является главным, а второй (меньшей грузоподъемности) – вспомогательным. Механизм передвижения крана установлен на мосту крана, механизм передвижения тележки – непосредственно на тележке.

Интенсификация современного производства приводит к увеличению скоростей перемещения транспортируемых грузов, что вызывает увеличение динамических нагрузок. Поэтому выбор таких параметров механизмов передвижения и подъема, при которых в их элементах имеют место минимальные динамические нагрузки, является актуальной задачей в процессе проектирования грузоподъемных машин.

Компьютерное моделирование механизмов, узлов и деталей мостовых кранов является важным элементом формирования оптимальных проектных решений конструкций в системах их автоматизированного моделирования.

Цель оптимального проектирования – поиск наилучшего решения в исследуемом множестве вариантов. Можно выделить следующие основные этапы оптимального проектирования механизмов мостовых кранов [2, 3, 5, 7]:

1. Разработка расчетной схемы и выбор основных параметров механизма, задание значений которых достаточно для описания возможного варианта;
2. разработка системы критериев качества (оптимальности, эффективности, целевой функции);
3. разработка системы ограничений на числовые значения параметров и критериев

качества и тем самым формирование множества вариантов, на котором ищется оптимальное решение;

4. разработка математической модели механизма;

5. разработка алгоритма оптимизации и его реализация на компьютере.

Решение задач оптимального проектирования может быть осуществлено только с применением ЭВМ.

Алгоритм проектирования (оптимизационного синтеза) мостового крана представлен на рисунке 1.

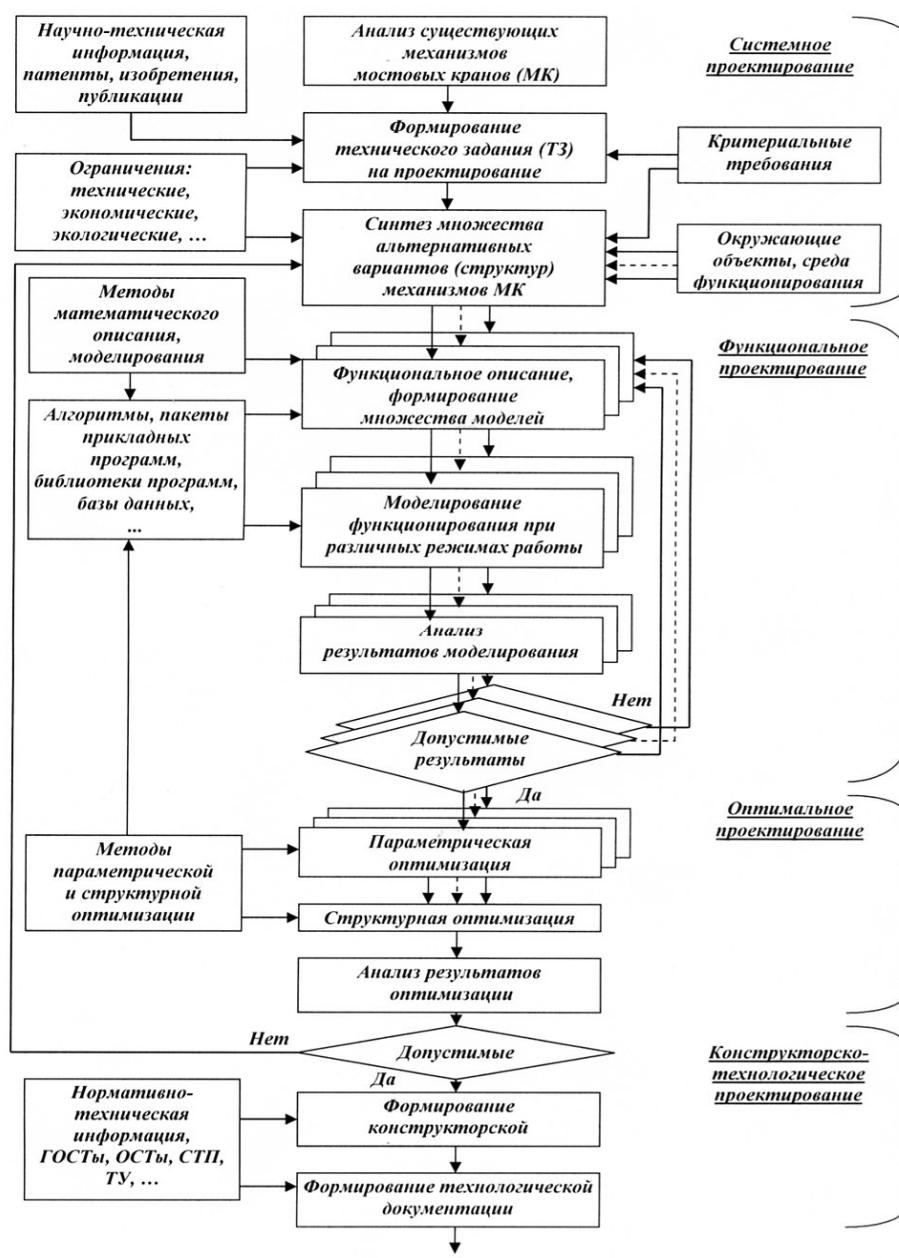


Рис. 1. Алгоритм проектирования мостового крана

Критерий качества (оптимальности) – это функция параметров, характеризующая определенное существенное свойство объекта оптимизации. Критерии качества могут быть заданы либо аналитическим выражением, либо замкнутым алгоритмом определения.

Состав одновременно учитываемых требований к мостовым кранам и их механизмам весьма обширен и разнообразен, поэтому задачи оптимального проектирования – это, как правило, многокритериальные задачи.

При проектировании механизмов передвижения и подъема груза мостовых кранов широко применяют такие разработанные унифицированные конструктивные устройства, как электродвигатели, редукторы, тормоза, ходовые колеса, крюковые подвески и другие, обладающие взаимозаменяемостью и позволяющие создавать из этих комплектующих устройства механизмы с требуемыми характеристиками. Унификация комплектующих конструктивных устройств механизмов передвижения и подъема груза упрощает обслуживание и ремонт крана.

Многообразие существующих конструктивных устройств механизмов передвижения и подъема груза вместе с накопленным опытом их применения позволяет выявить определенные закономерности и новые тенденции в методах и средствах их проектирования и выработать объективные рекомендации для выбора оптимальных конструктивных параметров комплектующих устройств механизмов передвижения и подъема груза, являющихся основой мостовых кранов.

Трехмерная графика успешно используется в области автоматизированного проектирования, в компьютерном моделировании конструктивных устройств механизмов передвижения и подъема груза мостового крана. Трехмерное (3D) моделирование – это изготовление объемных моделей в трехмерной плоскости. Трехмерные модели – это средство для достижения целей проектирования сложных объектов и оперативного принятия решений при устранении недостатков, возникающих в процессе проектирования.

В ходе моделирования исследование ведётся на модели, воспроизводящей основные геометрические, физические, динамические и функциональные характеристики "оригинала". На таких моделях изучаются процессы, происходящие в оригинале – объекте исследования или

разработки (изучение на моделях свойств конструкций, различных механизмов передвижения, подъема и т. п.).

3D-модель обладает вполне реальными физическими характеристиками – объемом, плотностью, массой, центром тяжести, моментами инерции. Трехмерные модели позволяют увидеть конечное изделие еще до его изготовления, произвести расчеты на прочность и многое другое. Компьютерное моделирование позволяет рассмотреть большее количество вариантов конструкции за меньшее время. Трехмерные модели основных устройств мостовых кранов, выполненные в среде КОМПАС-3D, показаны на рисунке 2.

Важное значение для повышения эффективности работы механизмов кранов имеет совершенствование существующих устройств (электродвигателя, редуктора, тормоза и др.), внедрение новых, более прогрессивных конструктивных решений, использование различных видов приводов (в том числе и гидравлического), улучшение технических характеристик устройств механизмов. Особую группу составляют приводы, в которых используются встраиваемые двигатели и встраиваемые механические передачи – мотор-редукторы.

Построенные трехмерные модели детали автоматически генерируются в чертежи с полным набором средств создания символов допусков, шероховатости и т.д. Между чертежом и электронной моделью детали поддерживается полная ассоциативность.

Механизм передвижения мостового крана (тележки) предназначен для передвижения крана (тележки) по рельсовому пути с заданной скоростью. Механизм передвижения мостового крана (тележки) состоит, как правило, из электродвигателя, редуктора, тормозного устройства и колес (приводных и неприводных). Элементы механизма передвижения соединены муфтами.

Одними из основных параметров механизмов передвижения и подъема груза являются их массовые и энергетические характеристики.

Исходными данными, необходимыми для определения энергетических характеристик (полезной мощности механизмов передвижения и подъема груза) мостового крана, являются: номинальная грузоподъемность крана, скорость перемещения крана (тележки), скорость подъема груза, группа режима механизмов работы крана.

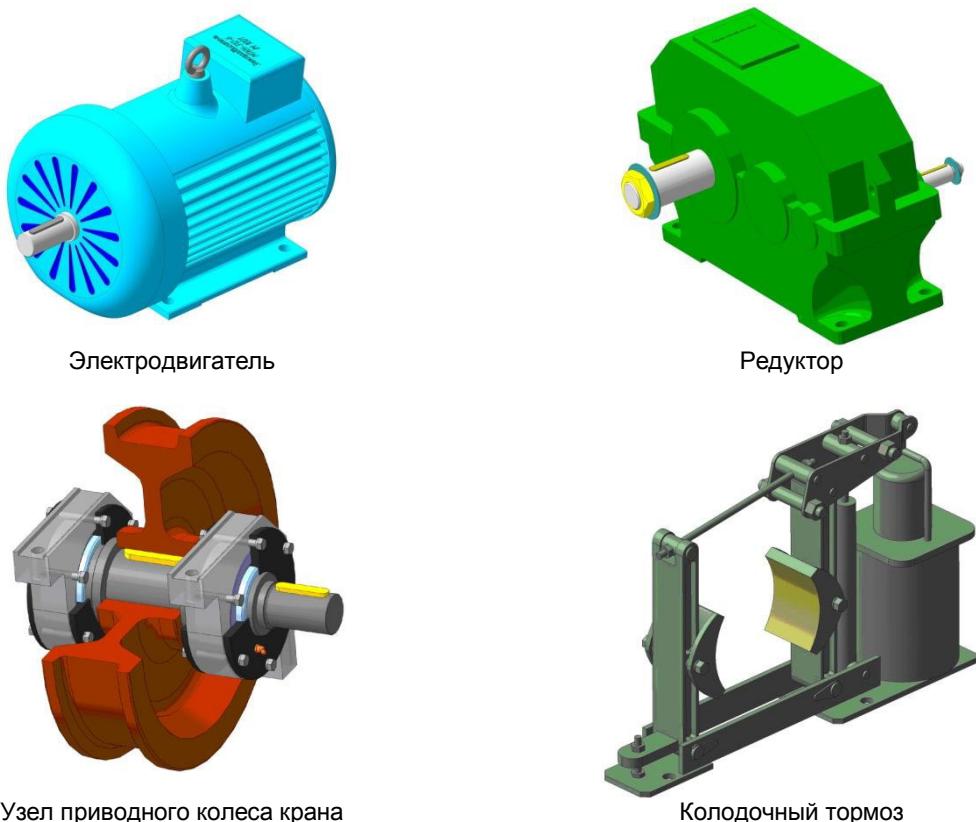


Рис. 2. Трехмерные модели основных устройств мостового крана

Полезная мощность (статическая) механизма передвижения крана определяется по формуле [6]:

$$N_c = \frac{F_{\Sigma} \cdot V_k}{\eta_0 z_d}, \quad (1)$$

где N_c – полезная мощность; F_{Σ} – суммарная сила сопротивления передвижению; V_k – скорость крана (V_m – скорость самоходной тележки); η_0 – общий КПД механизма; z_d – количество двигателей.

Электродвигатель механизма передвижения крана выбирается из условия:

$$N_d \geq N_c, \quad (2)$$

где N_d – мощность электродвигателя; N_c – полезная мощность двигателя механизма передвижения.

Механизм подъема груза является наиболее нагруженным крановым механизмом, определяющим степень интенсивности эксплуатации крана. Механизм подъема груза в общем случае состоит из полиспаста, грузозахватного устройства (крюка), гибкого элемента, электродвигателя, передаточного механизма (редуктора),

соединительных муфт, тормоза и грузового барабана.

Полезная мощность (статическая) механизма подъема груза определяется по формуле [6]:

$$N_{cm} = \frac{Q \cdot g \cdot V_e}{\eta_0}, \quad (3)$$

где N_{cm} – мощность механизма подъема груза; Q – номинальная грузоподъемность крана; g – ускорение свободного падения; V_e – номинальная скорость подъема груза; η_0 – общий КПД подъемного механизма при номинальной нагрузке.

Расчетная мощность электродвигателя грузоподъемного механизма зависит от требуемой статической мощности механизма подъема груза, коэффициента использования номинальной грузоподъемности, коэффициента, учитывающего фактическую продолжительность включения, коэффициента пусковых потерь и других факторов.

Фрагменты результатов расчетов полезной мощности механизмов передвижения и подъема груза мостового крана показаны на рисунках 3, 4. Рабочее окно расчета динамики механизмов передвижения и подъема груза мостового крана приведено на рисунке 5.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

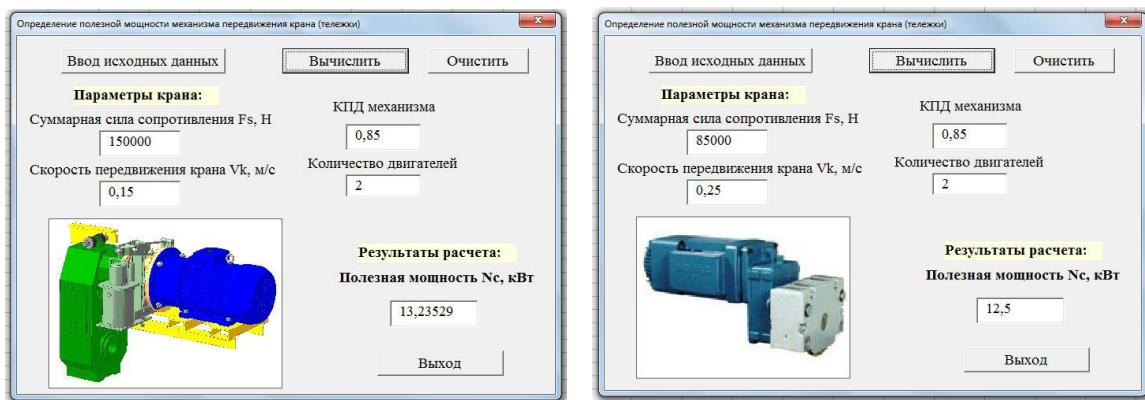


Рис. 3. Рабочие окна определения полезной мощности механизма передвижения крана

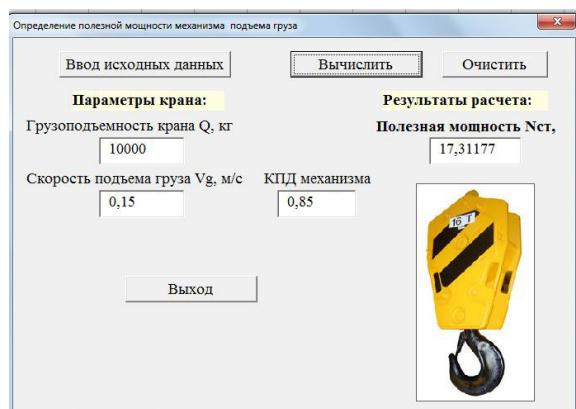


Рис. 4. Рабочее окно определения полезной мощности механизма подъема груза

```

Maple 11 - [05_A_2015.mws - [Server 1]]
File Edit View Insert Format Spreadsheet Window Help
[Icons]
[x] [o] ! !!!
> restart;
>
> # МЕХАНИЗМЫ ПЕРЕДВИЖЕНИЯ И ПОДЪЕМА ГРУЗА КРАНА
>
> # Исходные данные:
> m_k:=20500; m_m:=26000; m_g:=20000;
m_k := 20500
m_m := 26000
m_g := 20000

> PD:=15000; W:=10000;
PD := 15000
W := 10000

> cm:=69*10^5; ok:=20*10^3; bm:=17900; bk:=450;
cm := 6900000
ok := 20000
bm := 17900
bk := 450

> # Система дифференциальных уравнений:
> eg1:=diff(xk(t),t$2)*mk+bm*(diff(xk(t),t)-diff(xm(t),t))+cm*(xk(t)-xm(t))-PD+W=0;
eg1 := 20500  $\left( \frac{d^2}{dt^2} xk(t) \right) + 17900 \left( \frac{d}{dt} xk(t) \right) - 17900 \left( \frac{d}{dt} xm(t) \right) + 6900000 xk(t) - 6900000 xm(t) - 5000 = 0

> eg2:=diff(xm(t),t$2)*mm-bm*(diff(xk(t),t)-diff(xm(t),t))-cm*(xk(t)-xm(t))+bk*(diff(xm(t),t)-diff(xg(t),t))+ok*(xm(t)-xg(t))=0;
eg2 := 26000  $\left( \frac{d^2}{dt^2} xm(t) \right) - 17900 \left( \frac{d}{dt} xm(t) \right) + 18350 \left( \frac{d}{dt} xm(t) \right) - 6900000 xk(t) + 6920000 xm(t) - 450 \left( \frac{d}{dt} xg(t) \right) - 20000 xg(t) = 0$$ 
```

Рис. 5. Рабочее окно расчета динамики механизмов передвижения и подъема груза мостового крана

Основные параметры комплектующих устройств механизмов передвижения и подъема груза целесообразно рассматривать как случайные величины, обработать их

методами математической статистики и сделать регрессионный анализ с целью установления вида зависимости между параметрами.

Одним из основных параметров комплектующих конструктивных устройств механизмов передвижения и подъема груза является их масса. Масса комплектующих устройств учитывается при оценке технико-экономических показателей, выборе критериев оптимальности мостового крана [2].

Проведенный анализ статистических данных по массово-энергетическим характеристикам механизмов передвижения и

подъема груза позволил выявить функциональные зависимости, представленные на рисунках 6 – 7 между следующими параметрами:

массой электродвигателей серий МТФ, МТН, МТКФ, МТКН и мощностью электродвигателей (рис.6);

массой редуктора и мощностью редуктора (рис.7);

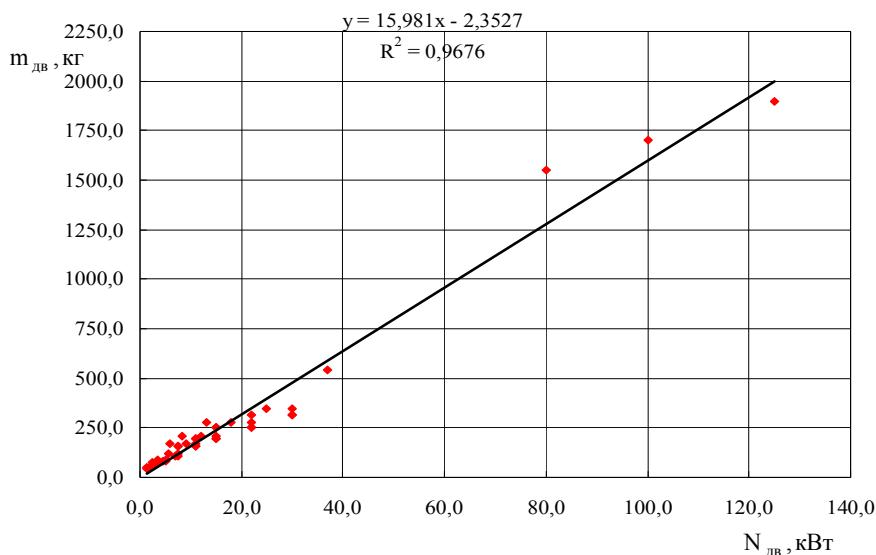


Рис. 6. Зависимость массы $m_{\text{дв}}$ электродвигателей серий МТФ, МТН, МТКФ, МТКН от мощности электродвигателей $N_{\text{дв}}$ (ПВ 40%)

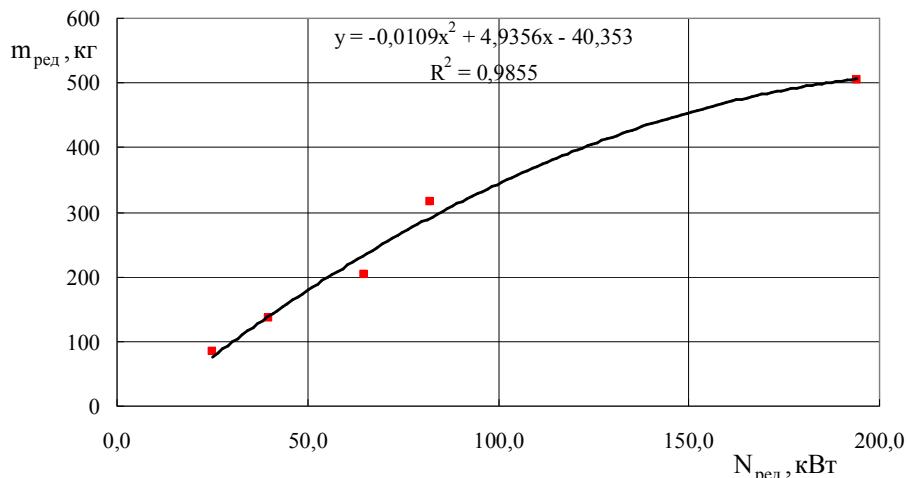


Рис. 7. Зависимость массы $m_{\text{ред}}$ редуктора от мощности $N_{\text{ред}}$ редуктора ($n_2 = 1500$ об/мин, редукторы типа Ц2, ПВ 40%)

Выбор вида функций, определение коэффициентов уравнений регрессии, величины достоверности аппроксимации производился на ЭВМ с использованием существующих инструментальных математических средств, таких как пакет Excel.

Зависимость массы электродвигателей серий МТФ, МТН, МТКФ, МТКН от мощности электродвигателей выражается формулой:

$$m_{\text{дв}} = 15,981N_{\text{дв}} - 2,3527, \quad (4)$$

где $m_{\text{дв}}$ – масса электродвигателя, кг; $N_{\text{дв}}$ – мощность электродвигателя, кВт, $N_{\text{дв}} \in (1,4; 100)$.

Уравнение регрессии зависимости массы редуктора от мощности редуктора (редукторы типа Ц2, ПВ 40%):

$$m_{ped} = -0,0109N_{ped}^2 + 4,9356N_{ped} - 40,353, \quad (5)$$

где m_{ped} – масса редуктора, кг; N_{ped} – мощность редуктора, кВт; $N_{ped} \in (25; 194)$.

Выводы

Трехмерное моделирование механизмов мостовых кранов стало важным элементом моделирования мостовых кранов на ЭВМ. Компьютерное моделирование позволяет создавать эффективные перспективные мостовые краны, совершенствовать их, улучшать их технические характеристики, повышать грузоподъемность, производительность, точность выполнения работ, использовать различные виды приводов. Одними из основных параметров комплектующих конструктивных устройств механизмов передвижения и подъема груза являются их массово-энергетические характеристики, которые учитываются при оценке технико-экономических показателей мостового крана.

Библиографический список

1. Александров, М.П. Подъемно-транспортные машины: учеб. для машиностроит. спец. вузов / М.П.Александров. – М.: Высш. шк., 1985. – 520 с.
2. Галдин, Н. С. Критерии эффективности основных механизмов мостовых кранов / Н. С. Галдин, С. В. Ерёмина, О. В. Курбацкая // Вестник СибАДИ. – Омск: СибАДИ, 2014. – № 1 (35). – С. 7 – 11.
3. Галдин Н. С. Особенности проектирования основных механизмов мостовых кранов / Н. С. Галдин, С. В. Курбацкая, О. В. Курбацкая. // Вестник СибАДИ. – Омск: СибАДИ, 2012. – № 5 (27). – С. 21 – 25.
4. Гохберг М.М. Справочник по кранам: В 2 т. Т. 2. Характеристики и конструктивные схемы кранов. Крановые механизмы, их детали и узлы. Техническая эксплуатация кранов / М.П. Александров, М.М. Гохберг, А.А. Ковин и др.; Под общ. ред. М.М. Гохберга. – М.: Машиностроение, 1988. – 559 с.
5. Курсовое проектирование грузоподъемных машин / С.А. Казак, В.Е. Дусье, Е.С.Кузнецов и др.: Под ред. С.А. Казака. – М.: Высш. школа, 1989. – 319 с.
6. Ремизович, Ю.В. Транспортно-технологические машины / Ю. В. Ремизович. – Омск: СибАДИ, 2011. – 160 с.
7. Системы автоматизированного проектирования / Л. Н. Андреев, Д. Е. Бортияков, С.В. Мещеряков. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002. – 78 с.

COMPUTER MODELING OF THE BASIC MECHANISMS OF BRIDGE CRANES

N.S. Galdin, O.V. Kurbatskaya, S.V. Eremina

Abstract. The authors have proved that computer modeling of mechanisms, components and parts of

bridge cranes is an important element in forming optimal design decisions of structures in systems of computer-aided engineering. There is presented an algorithm for designing bridge crane, there are identified functional dependences of energy characteristics of the mechanisms of load lifting and movement.

Keywords: bridge crane, mechanisms, useful capacity, computer modeling.

References

1. Aleksandrov M. P. Podemno-transportnye mashiny [Lifting and carrying machinery]. Moscpw, Vyssh. shk., 1985. 520 p.
2. Galdin N. S., Eryomina S. V., Kurbackaya O. V. Kriterii jekfektivnosti osnovnyh mehanizmov mostovyh kranov [Criteria of efficiency of the basic mechanisms of bridge cranes]. Vestnik SibADI, 2014, no 1 (35). pp. 7 – 11.
3. Galdin N. S., Kurbackaya S. V., Kurbackaya O. V. Osobennosti proektirovaniya osnovnyh mehanizmov mostovyh kranov [The peculiarities of designing basic mechanisms of bridge cranes]. Vestnik SibADI, 2012. no 5 (27). pp. 21 – 25.
4. Gokhberg M.M. Spravochnik po kranam: V 2 t. T. 2. Harakteristiki i konstruktivnye shemy kranov. Kranovye mehanizmy, ih detali i uzly. Tehnicheskaja jekspluatacija kranov [Handbook on cranes: in 2 v. V. 2. Characteristics and constructive schemes of cranes. Crane mechanisms, their parts and components. Technical operation of cranes]. Moscow, Mashinostroenie, 1988. 559 p.
5. Kursovoe proektirovanie gruzopodemnyh mashin [Course design of lifting machines]. S.A. Kazak, V.E. Dus'e, E.S.Kuznecov i dr.: Pod red. S.A. Kazaka. Moscow, Vyssh. shkola, 1989. 319 p.
6. Remizovich Y.V. Transportno-tehnologicheskie mashiny [Transport and technological machines]. Omsk, SibADI, 2011. 160 p.
7. Sistemy avtomatizirovannogo proektirovaniya [Computer-Aided Engineering Systems]. L.N. Andreev, D. E. Bortyakov, S.V. Meshcheryakov. SPb.: Izd-vo SPbGTU, 2002. 78 p.

Галдин Николай Семенович (Россия, г. Омск) – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Подъемно-транспортные, тяговые машины и гидропривод» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: galdin_ns@sibadi.org).

Курбацкая Ольга Владимировна (Россия, г. Омск) – инженер кафедры «Подъемно-транспортные, тяговые машины и гидропривод» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5).

Ерёмина Светлана Владимировна (Россия, г. Омск) – инженер кафедры «Компьютерные информационные автоматизированные системы» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5).

Galdin Nikolay Semenovich (Russian Federation, Omsk) – doctor of technical sciences, professor, head of

the department "Carrying, lifting, traction machines and hydraulic circuit" of The Siberian state automobile and highway academy (SibADI) (644080 Russia, Omsk, Mira ave. 5, e-mail: galdin_ns@sibadi.org).

Kurbatskaya Olga Vladimirovna (Russian Federation, Omsk) – engineer of the department "Carrying, lifting, traction machines and hydraulic circuit"

of The Siberian state automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5).

Eryomina Svetlana Vladimirovna (Russian Federation, Omsk) – engineer of the department «Computer Information Automated Systems» of The Siberian state automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5).

УДК 629.015

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ НАГРУЖЕНИЯ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ПАРЫ «ВЕДУЩАЯ ШЕСТЕРНЯ – ВЕНЕЦ ПОВОРОТНОГО КРУГА» ПРИ ИССЛЕДОВАНИЯХ ЭНЕРГОЕМКОСТИ МЕХАНИЗМА ПОВОРОТА ЭКСКАВАТОРА

В.Н. Кузнецова¹, В.В. Савинкин²

¹ Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия «СибАДИ», Омск, Россия;

² Северо-Казахстанский государственный университет им. М. Козыбаева, Петропавловск, Казахстан

Аннотация. В статье анализируются результаты расчета кинематической пары опорно-поворотного круга одноковшового экскаватора и распределения нагрузки по ее контактной поверхности. На основе изучения нагрузочных режимов поворотной платформы при максимальных значениях сил инерции, которые возникают при резком ускорении и торможении, установлено, что снижению долговечности способствуют пиковье напряжения, возникающие в зацеплении зубьев.

Ключевые слова: экскаватор одноковшовый, опорно-поворотный круг, эффективность, моделирование, расчет, процесс.

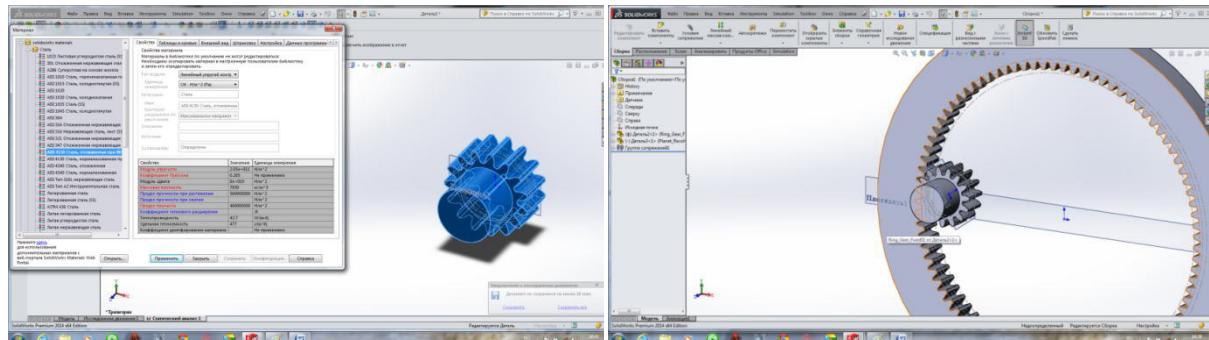
Введение

Современный этап развития систем моделирования технологических процессов характеризуется повышением их функциональной насыщенности. Моделирование процессов работы гидропривода экскаватора является сложной системной задачей, так как данная система является иерархической и имеющей широкий

диапазон свойств, динамично изменяющихся во времени [1 - 4].

Моделирование работы поворотного механизма

На основании проведенных расчетов геометрических характеристик кинематической пары «ведущая шестерня – венец поворотного круга» одноковшового экскаватора была разработана модель в виде сборочных единиц (рис. 1).



а) 3D модель ведущей шестерни

б) 3D модель кинематической пары «ведущая шестерня – венец поворотного круга»

Рис. 1. Поэлементное моделирование пары зацепления