УДК 631.374

ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ЭТАПЕ ИХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ С ПОМОЩЬЮ ТЕХНОЛОГИЙ 3D-ПРОТОТИПИРОВАНИЯ

ЗАГОРУЙКО Михаил Геннадьевич, *Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова*

ЕЛИСЕЕВ Михаил Семенович, *Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова*

ВАСИЛЬЧИКОВ Валентин Владимирович, *Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова*

Рассмотрено проектирование с помощью технологий 3D-прототипирования стрелы фронтального погрузчика типа ПКУ-08. Было получено параметрическое уравнение, описывающее зависимость усилия на штоке силового гидроцилиндра от его геометрических параметров, на основе которого построена зависимость усилия $F_{гц}$ от величины поднимаемого груза Q и высоты подъема стрелы погрузчика.

Современные требования к проектированию и производству деталей машин и элементов строительных конструкций заставляют вовлекать в него все новые технологии. Быстрое и недорогое изготовление прототипа, модели или экспериментального образца в современном производстве является на сегодняшний день одной из приоритетных задач.

Рассмотрим особенности проектирования на примере стрелы фронтального погрузчика типа ПКУ-0,8.

В связи с тем, что отсутствуют условия для физического создания модели, а нам необходимо, чтобы модель хорошо отображала только исследуемый аспект системы, без учета случайных воздействий, нами был применен метод приближенного детерминированного динамического численно - аналитического моделирования [1, 2].

На основании методики, приведенной в работе [3, 4] оптимальный вариант соотношения размеров механизма подъема должен обеспечивать наибольшее отрывное усилие, которое из уравнения моментов относительно точки крепления силового гидроцилиндра на стреле погрузчика будет:

$$F = \frac{F_c r_c - g G_c - L_c}{L}, \qquad (1)$$

где F_c – усилие в гидроцилиндре; $F_c = \eta \rho A_c$; η – КПД механической передачи; ρ – рабочее давление в системе; A_c – суммарная площадь гидроцилиндров.

Момент на стреле механизма подъема будет равен

$$M = F L_x . \qquad (2)$$

В процессе работы фронтального погрузчика, подъема груза весом Q, движущееся усилие в гидроцилиндре $F_ц$ будет изменяться по некоторому закону и достигает экстремума при определенном угле подъема стрелы α_i. Кинематическую схему стрелы фронтального погрузчика можно представить в виде (рис. 1):

Изменение соотношения между геометрическими параметрами механизма стрелы и гидроцилиндра не отразится на законе изменения движущего усилия. При нагружении гидропривода трактора при подъеме стрелы желательно, чтобы максимум силы был наименьшим. Математически это требование можно записать как

$$\max_{\alpha} F_{гц}(\alpha, \alpha_0) = \min \alpha_0. \qquad (3)$$

В нашем случае справедливо и обратное выражение:

$$\min_{\alpha} F_{гц}(\alpha, \alpha_0) = \max \alpha_0. \qquad (4)$$

Обозначим длину стрелы $BD = l_D$, $BC = l_C$, $AB = h$, $AC = l_{ц.}$

Составим условие равновесия системы:

$$F_{гц} \sin\gamma l_c = Q \sin(\alpha + \alpha_0) l_D; \qquad (5)$$

отсюда:

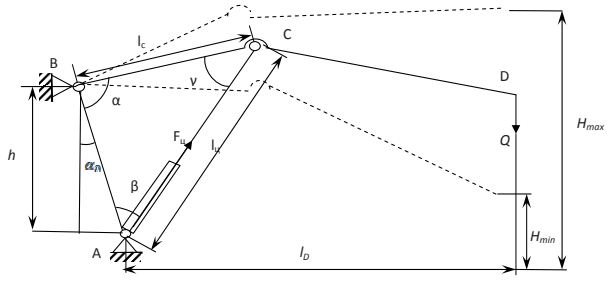

Рис. 1. Кинематическая схема стрелы фронтального погрузчика

$$F_{гц} = \frac{Q\, l_d \sin(\alpha + \alpha_0)}{l_c \sin\gamma}\ . \qquad (6)$$

Из треугольника ABC, используя терему синусов, выразим угол между стрелой погрузчика и силовым гидроцилиндром:

$\sin\gamma = h l_ц \sin\alpha$. (7)

Из того же треугольника по теореме косинусов находим:

$$l_ц^2 = l_c^2 + h^2 - 2 l_c \cos\alpha\ ; \qquad (8)$$

отсюда:

$$l_{цmax}^2 = l_c^2 + h^2 - 2 l_c \cos\alpha_{max}\ ; \qquad (9)$$

$$l_{цmin}^2 = l_c^2 + h^2 - 2 l_c \cos\alpha_{min}\ . \qquad (10)$$

После преобразования выражения (9) и (10) примут следующий вид:

$$l_{цmax}^2 = 2 l_c h - l_c^2 + h^2 \cos\alpha_{max}\ ; \qquad (11)$$

$$l_{цmin}^2 = 2 l_c h - l_c^2 + h^2 \cos\alpha_{min}\ . \qquad (12)$$

Подставляя полученные выражения в уравнение (6), получим:

$$F_{гц} = \frac{Q\, l_d \sin(\alpha + \alpha_0) \cdot \sqrt{(l_c^2 + h^2) - 2 l_c h \cos\alpha}}{2 l_c h \sin\alpha}\ . \qquad (12)$$

Полученное параметрическое уравнение описывает зависимость усилия на штоке силового гидроцилиндра от его геометрических параметров.

На основе данного выражения построим зависимость усилия $F_{гц}$ от величины поднимаемого груза Q и высоты подъема стрелы погрузчика (рис. 2).

Исследования функции следует проводить в известных границах изменения величин $l_ц$ и α.

Решение данной задачи возможно путем определения значения угла α, для которого значение силы $F_{гц}$ имеет наименьшее значение.

Для этого задаются шагом измерения угла $\alpha = \alpha_{max} - \alpha_{min}$ для каждого значения этого угла при фиксированных значениях параметров вычисляют и строят график функции $F_{гц} = f(\alpha)$.

По полученным результатам строим график зависимости усилия на штоке гидроцилиндра от угла наклона стрелы погрузчика и расстояния до точки опирания силового гидроцилиндра (рис. 3).

По полученным кривым $F_{гц} = f(\alpha)$ находят максимальное значение движущей силы $F_{гц} = F_{гцmax}$, полученное для каждого значения α_0. После этого строят график максимальных значений сил $F_{гцmax}$ в функции угла α_0 и по нему находят оптимальное значение угла α, для которого максимум силы $F_{гцmax}$ имеет свое оптимальное значение.

В ходе данного численного эксперимента необходимо построить два графика $F_{гц} = f(\alpha)$ и $F_{гцmax} = f(\alpha_0)$, по которым необходимо выяснить угол α.

Одной из технологий, способных помочь в быстром изготовлении прототипов является 3D-проектирование и прототипирование.

Применение компьютерного моделирования при проектировании как самих конструкции, так как и отдельных ее элементов применяется уже достаточно давно [5]. Но, несмотря на все преимущества данной технологии, у нее есть один существенный недостаток – деталь или макет остаются виртуальным вплоть до изготовления серийной партии образцов по подготовленным в ходе компьютерного моделирования чертежам.

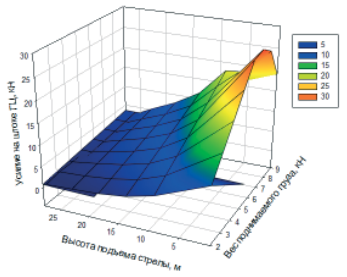

Рис. 2. Зависимость усилия $F_{гц}$ от величины поднимаемого груза Q и высоты подъема стрелы погрузчика

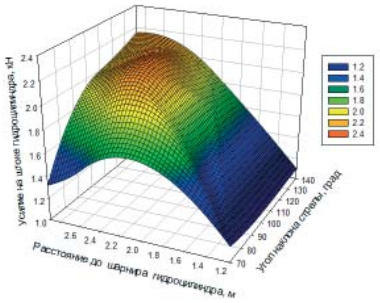

Рис. 3. Зависимость усилия на штоке гидроцилиндра подъема стрелы фронтального погрузчика от ее кинематических параметров

В ряде случаев недостаточно провести только твердотельное моделирования элемента конструкции. Прежде чем подготовить пакет конструкторской документации для дальнейшего серийного производства деталей машин или элементов строительных конструкций необходимо удостовериться в работоспособности механизма и отдельных его элементов.

Кроме того, нередко, в ходе первоначального проектирования невозможно учесть все особенности разработанного изделия, механизма, детали и т.п.

Решением в данном случае может служить применение технологии быстрого прототипирования.

Внедрение и применение технологий быстрого прототипирования стало возможным промоделировать полный цикл создания изделия, проиллюстрировать его жизненный цикл от этапа проектирования до этапа изготовления.

В ряде случаев деталь имеет слишком сложную форму, чтобы ее можно было изготовить литьем под давлением без сборочных операций.

Подобных недостатков лишены прототипы, изготовленные с помощью 3D-печати.

Доступность 3D-печати позволяет проводить смелые эксперименты в архитектуре, строительстве, мелкосерийном производстве.

В отличие от традиционных методов производства, быстрое прототипирование изделий с применением послойной печати выгодно отличается от стандартной обработки заготовки с удалением материала (фрезеровка, сверление, стачивание) или изменение ее формы (штамповка, ковка, изгиб, раскатывание). Объемное быстрое прототипирование изделий выполняется путем послойного наращивания материала, из которого состоит деталь или модель, до образования единого целого – готового изделия. Данная технология позволяет снять все ограничения на внутреннюю структуру получаемой модели.

Технология быстрого прототипирования позволяет конструктору увидеть, как цифровая модель будет выглядеть в материале.

Кроме того, на готовой физической модели можно проводить различные тесты еще до запуска изделия в серию.

Стоит отметить еще тот факт, что создание подобных моделей не только существенно снижает время изготовления прототипов, но и в разы снижает их себестоимость.

Рассмотрим особенности быстрого прототипирования на примере модели усиливающей накладки на стрелу фронтального погрузчика, спроектированной с применением современных комплексов твердотельного моделирования (рис. 4) и изготовленных на базе 3D-принтера PICASO 3D DESIGNER.

Этапы проектирования прототипа накладки:

1) аналитический и программный расчет формы и размеров накладки для конкретной модели стрелы;

2) 3D-моделирование (Компас 3D);

3) изготовление прототипа на 3D-принтере.

Полученная в ходе имитационного моделирования и быстрого прототипирования модель накладки на стрелу погрузчика позволяет:

1) исследовать прочностные свойства масштабной модели стрелы фронтального погрузчика с целью дальнейшее проверки сходимости результатов аналитического, программного расчета и экспериментальных данных;

2) провести проверку работоспособности разработанной усиливающей накладки, позволяющей изменять положения опорного шарнира силового гидроцилиндра;

3) исследовать конструктивные параметры модифицированной стрелы погрузчика;

4) исследовать напряженное состояние накладки (места деформации в материале накладки при нагрузке будут соответствовать опасным сечениям в реальной металлической конструкции);

5) изготовить модель представленного прототипа накладки в металле.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что внедрение технологий 3D-моделирования и 3D-прототипирования позволяет более эффективно осуществлять процесс проектирования элементов строительных конструкций и деталей машин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Васильчиков В.В., Павлов П.И., Жигунов С.А.* Факторы, влияющие на энергоемкость фронталь-

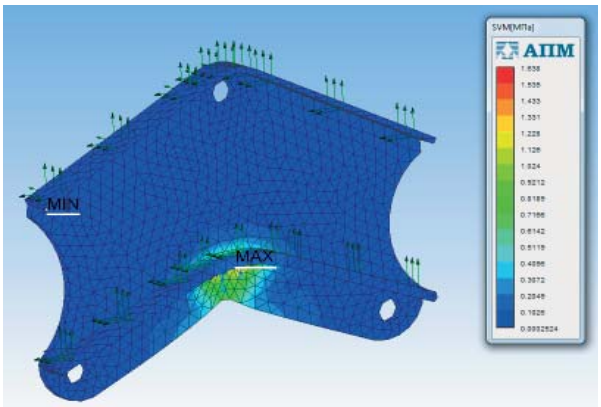

Рис. 4. 3D-модель усиливающей накладки стрелы фронтального погрузчика

ного погрузка // Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н.И. Вавилова. – 2014. – № 6.

2. *Васильчиков В.В., Жигунов С.А.* Методы оптимизации геометрических параметров стрелы фронтального погрузчика // Научная мысль. – 2015. – № 3. – С. 106.

3. *Ерохин М.Н., Казанцев С.П., Карп А.В.* Подъемно-транспортные машины. – М.: Колос, 2010. – 335 с.

4. *Казаринов В.М., Фохт Л.Г.* Одноковшовые погрузчики в строительстве. – 2-е изд., перераб. – М.: Стройиздат, 1975. – 239 с.

5. *Родионов И. Б.* Теория систем и системный анализ. – Режим доступа: http://victor-safronov.narod.ru/systems-analysis/lectures/rodionov/08.html.

Загоруйко Михаил Геннадьевич, *канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Механика и инженерная графика», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.*

Елисеев Михаил Семенович, *д-р техн. наук проф. кафедры «Механика и инженерная графика», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.*

Васильчиков Валентин Владимирович, *канд. техн. наук, доцент кафедры «Механика и инженерная графика», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.*

410056, г. Саратов, ул. Советская, 60.
Тел.: (8452) 74-96-51.

Ключевые слова: *стрела фронтального погрузчика; 3D-прототипирование; твердотельное моделирование.*

OPTIMIZATION OF GEOMETRICAL PARAMETERS OF BUILDING CONSTRUCTION ELEMENTS AT THEIR DESIGN WITH 3D-PROTOTYPING TECHNOLOGY

Zagoruyko Mikhail Gennadievich, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the chair "Mechanics and Engineering Graphics", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.*

Eliseev Mikhail Semenovich, *Doctor of Technical Sciences, Professor of the chair "Me-chanics and Engineering Graphics", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.*

Vasylchikov Valentin Vladimirovich, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Mechanics and Engineering Graphics", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.*

Keywords: *front loader boom; 3D-prototyping; solid modeling.*

It is considered design with 3D-prototyping technology of the front loader boom of the type PKU-08. It is received parametric equation describing the dependence of the force on the plunger of the power cylinder on its geometrical parameters. On its basis it is plotted effort against the load weight and height of the truck boom.

УДК 343.983

ВОЗМОЖНОСТИ И ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРТИЗЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗМЕНЕННЫХ ИЛИ УНИЧТОЖЕННЫХ МАРКИРОВОЧНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ НА РАЗЛИЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ

РАЙГОРОДСКИЙ Владимир Михайлович, *Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова*

В работе рассмотрены методы проведения экспертизы восстановления измененных или уничтоженных маркировочных обозначений на различных материалах: металлах и сплавах, полимерах, дереве. Основное внимание уделено химическим методам восстановления, в т.ч. электрохимическому как наиболее легко реализуемым. Для отдельных материалов приведены составы травителей и электролитов, используемые при этом. Показано, что для металлов и сплавов процесс восстановления зачастую сопровождается образованием на поверхности нерастворимых окислов темного цвета, резко снижающих контраст и мешающих фиксации восстановленных обозначений.

Необходимость в восстановлении измененных или уничтоженных маркировочных обозначений возникает при расследовании различных категорий преступлений: краж транспортных средств, антиквариата, незаконного приобретения оружия, орденов, подделки пробирных клейм на изделиях из драгоценных металлов, маркировочных обозначений на пломбировочных запирающих устройствах и пр.

Данное исследование носит комплексный характер, включающее в себя не только определение вида материала с измененными или уничтоженными маркировочными