

Для проверки пределов прочности на изгиб образец устанавливали на двух опорах прессы и прикладывали нагрузку в середине пролета и равномерно распределяли по ширине образца. Нагрузка на образце должна возрастать непрерывно со скоростью, обеспечивающей его разрушение через 20–60 с после начала испытания.

Предел прочности при изгибе  $P_{изг}$  (МПа), образца определяется по формуле

$$P_{изг} = \frac{3 \cdot P \cdot l}{2 \cdot b \cdot h^2},$$

где  $P$  – наибольшая нагрузка, установления при испытании образца, МН;  $l$  – расстояние между осями опор, м;  $b$  – ширина образца;  $h$  – высота образца посередине пролета без выравнивающего слоя. Данные испытаний образцов на предел прочности на изгиб представлены на рисунке 2.

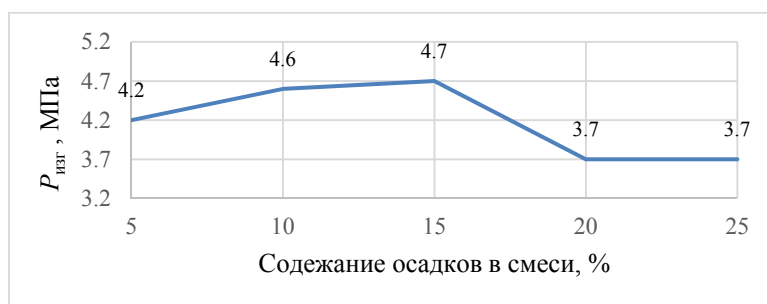


Рисунок 2 – Зависимость значений пределов прочности на изгиб образцов в зависимости от содержания осадков в смеси

На основе полученных результатов можно сделать следующие выводы. Применение техногенных продуктов химводоподготовки ТЭЦ возможно в качестве отощающего сырья при производстве керамического кирпича с целью замены основного сырья. Наиболее рациональное содержание продуктов химводоподготовки в исходной смеси составляет от 10 до 15 %. Помимо экономического эффекта при производстве керамического кирпича за счет использования осадков химводоподготовки можно улучшить экологическую обстановку на территории ТЭЦ.

#### Список использованных источников

1. Решетникова, К. В. Регулирование свойств силикатного кирпича введением тонкодисперсных добавок / К. В. Решетникова, М. А. Ращупкина // Архитектура, строительство, транспорт материалы Международной научно-практической конференции (к 85-летию ФГБОУ ВПО «СибАДИ»). – Омск, 2015. – С. 545–549.
2. Обжиговые строительные материалы с использованием отходов теплоэнергетики / Н. К. Скрипникова [и др.] // Инновационные технологии в машиностроении : сборник трудов VIII Международной научно-практической конференции / Юргинский технологический институт. – Юрга, 2017. – С. 231–233.
3. Ковчур, А. С. Комплексное использование неорганических отходов водонасосных станций и теплоэлектроцентралей : монография / А. С. Ковчур [и др.]. – Витебск : УО «ВГТУ», 2018. – 161 с.

УДК 621.001.63, 621.81:539.4

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОСЛЕДНЕЙ СЕКЦИИ СТРЕЛЫ КРАНО-МАНИПУЛЯТОРНОЙ УСТАНОВКИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ТИПА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

*Хмельёв К.Г., маг., Ольшанский В.И., проф., Махаринский Ю.Е., доц.*

*Витебский государственный технологический университет  
г. Витебск, Республика Беларусь.*

Реферат. В статье рассмотрена последовательность синтеза конструкции секций стрелы крано-манипуляторной установки.

Ключевые слова: крано-манипуляторная установка, конкурентная конструкция, нагрузки на элементы стрелы КМУ, имитационное моделирование.

В связи с расширением рынка потребления КМУ возникает задача определения конкурентной конструкции КМУ. Данный расчет позволил определить рациональную форму поперечного сечения секции стрелы.

На данный момент основными производителями КМУ, являются:

- ф. HIAB (Швеция);
- ф. PALFINGER (Австрия);
- ф. UNIC (Япония).

В процессе работы элементы КМУ испытывают сложнораспределенные нагрузки: изгиб под воздействием сил тяжести и веса рабочего груза, кручение и смятие под воздействием крутящего момента и ветровой нагрузки (ГОСТ 1451-77 Краны грузоподъемные. Нагрузка ветровая.). На основе анализа серийных моделей КМУ определено, что конструктивно сечение стрел может быть разными, на рисунке 2 предоставлены наиболее распространенные сечения стрел [7].

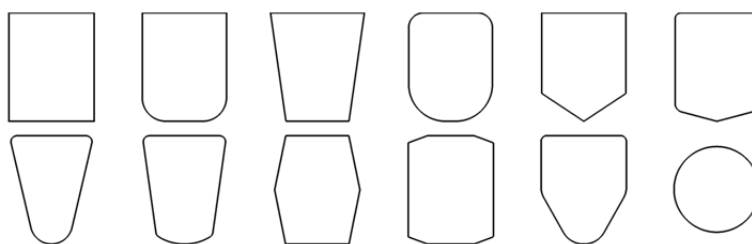


Рисунок 2 – Сечения стрел

Согласно анализу рынка КМУ были выбраны три основных типа сечений стрел:

- прямоугольная;
- оvoidная;
- шестигранная.

Далее были проведены статические испытания данных сечений. Ограничивающими условиями была нагрузка и габаритные размеры. Результаты испытаний приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты испытаний

Форма сечения	В*Ш, мм	Марка стали	Толщина, мм	Нагрузка, Н	Макс. напряжение, Мпа.	Масса, кг
Прямоугольная	188x96	Strenx 700	6	17420	356	113,76
Оvoidная	188x96	Strenx 700	6	17420	305	90,70
Шестигранная	188x96	Strenx 700	6	17420	371	96,13

Проведя сравнительный анализ, исходя из полученных данных, была выбрана шестигранная форма сечения стрелы.

После выбора конструкции стрел производится статический анализ методом конечных элементов в среде Solidworks simulation [4,5,6]. Указав места фиксации стрелы (зеленые стрелки), расставляем все нагрузки, действующие на стрелу [8,9]:

- ветровая нагрузка на предпоследнюю секцию (красные стрелки,  $P = 350 \text{ N/m}^2$ );
- ветровая нагрузка на последнюю секцию (красные стрелки,  $P = 350 \text{ N/m}^2$ );
- необходимое давление для выдвигения последней секции (красные стрелки  $P = 8.2 \text{ МПа}$ );
- нагрузка (фиолетовые стрелки  $F = 17420 \text{ Н}$ );
- крутящий момент (желтые стрелки  $M = 15000 \text{ Н*м}$ ).

В нагрузку включены две составляющие: грузоподъемность и инерционная нагрузка которая была преобразованная в статическую нагрузку. В данном анализе нас интересует последняя секция стрелы. Статический расчет производим методом конечных элементов [1,2,3].

По данным диаграммам можно видеть сильно нагруженные места и исходя из этого искать конструкторские решения для снижения нагрузки. Данные решения и являются решением задачи по созданию конкурентноспособной КМУ в условиях нынешнего экономического положения.

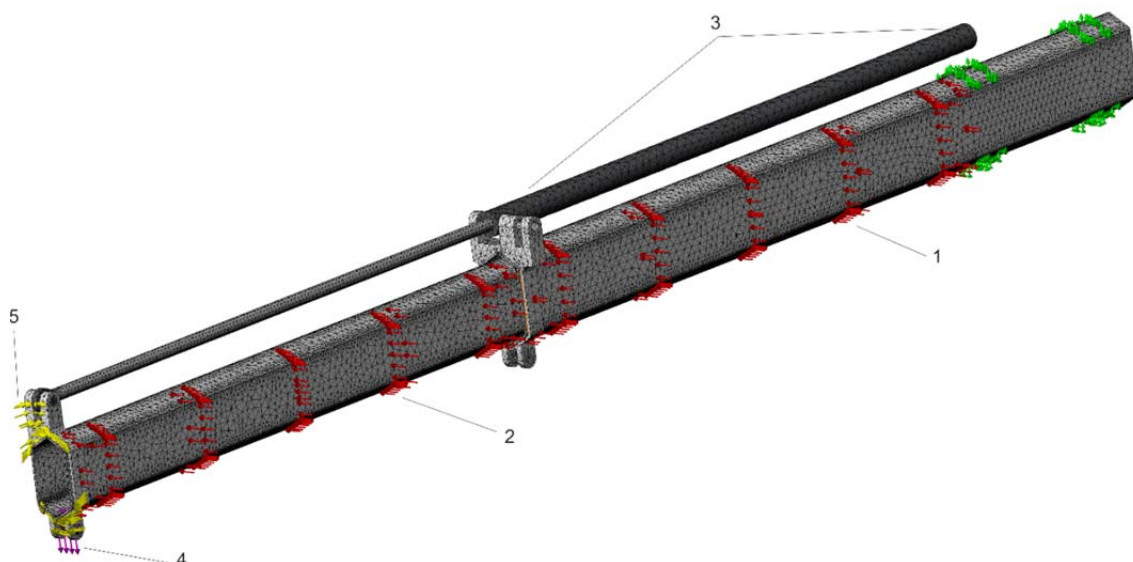


Рисунок 2 – Сетка конечных элементов:

- 1 – ветровая нагрузка на последнюю секцию, 2 – ветровая нагрузка на последнюю секцию, 3 – давление в гидроцилиндре для выдвигания последней секции, 4 – расчетная нагрузка, 5 – крутящий момент от расчетной нагрузки.

После корректной постановки всех нагрузок получаем иллюстрированное изображение напряжений в секциях стрелы.

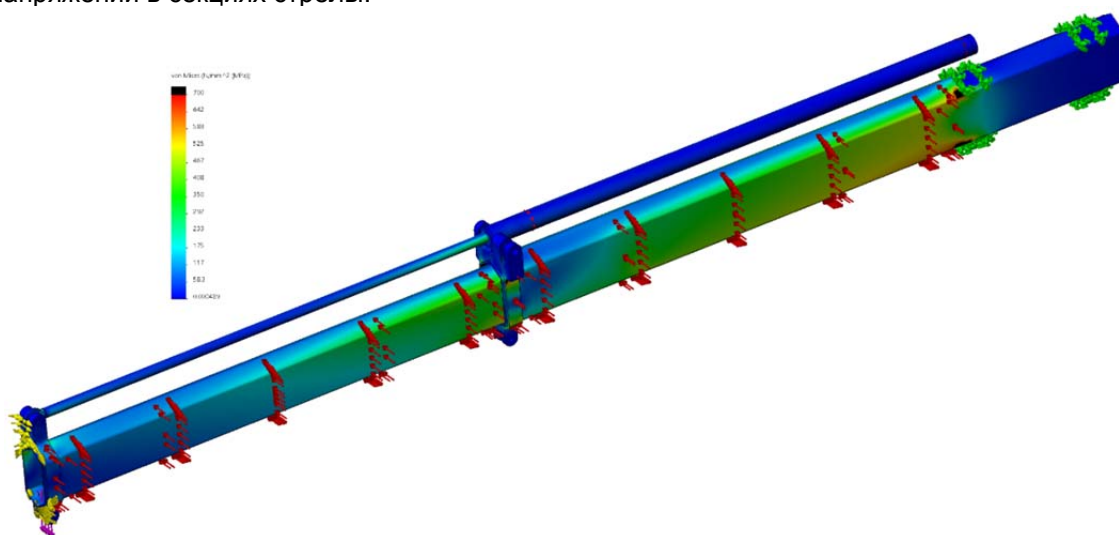


Рисунок 3 – Напряжения, возникающие в секциях стрелы

Вывод: шестигранный профиль стрелы уступает по прочности и весу оvoidному, но зато технология изготовления легче и дешевле, чем для оvoidного профиля. Так же шестигранный уступает по жесткости прямоугольному профилю, однако он легче. А вес является одним из главных критериев.

Проведя все расчеты видно, что последняя шестигранная секция стрелы проходит статические испытания с коэффициентом запасом прочности равным 1,5.

#### Список использованных источников

1. Галлагер, Р. Метод конечных элементов. Основы / Р. Галлагер – Москва : Мир, 1984. – 472 с.
2. Зенкевич, О. Конечные элементы и аппроксимация / О. Зенкевич – Москва : Мир, 1986. – 387 с.
3. Розин, Л. А. Стержневые системы как системы конечных элементов / Л. А. Розин – Ленинград.: Изд-во ЛГУ, 1976. – 156 с.
4. Дударева, Н. Ю. Самоучитель SolidWorks 2010 / Н. Ю. Дударева, С. А. Загайко. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 416 с.

5. Алямовский, А. А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation / А. А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2010. – 464 с.
6. Алямовский, А. А. SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации. / А. А. Алямовский. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 562 с.
7. Лагерев, А. В. Динамико-прочностной анализ гидравлических крано-манипуляторных установок мобильных машин. / А. В. Лагерев, А. А. Мильто, И. А. Лагерев. – Брянск: Издательство БГУ, 2015. – 186 с.
8. Лагерев, И. А. Динамика трехзвенных гидравлических кранов-манипуляторов / И. А. Лагерев, А. В. Лагерев. – Брянск : Изд-во БГТУ, 2012. – 196 с.
9. Лагерев, И. А. Оптимальное проектирование подъемно-транспортных машин / И. А. Лагерев, А. В. Лагерев – Брянск : Издательство БГТУ, 2013. – 228 с.

УДК 621.9.07

## ПРОВЕДЕНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОГРЕШНОСТИ ЗАКРЕПЛЕНИЯ В СРЕДЕ AUTODESK INVENTOR

**Володько А.М., маг., Махаринский Ю.Е., доц., Окунев Р.В., асс.**

*Витебский государственный технологический университет  
г. Витебск, Республика Беларусь.*

Реферат. В статье рассмотрены способы определения погрешности закрепления: экспериментальный, расчетный, табличный и моделированием в среде autodesk inventor.

Ключевые слова: расчет приспособлений на точность, погрешность закрепления, 3D-модель, имитация деформаций под действием силы зажима.

При проектировании технологической оснастки важным этапом является определение точности изготовления приспособления, первичных погрешностей, влияющих на точность обработки заготовки, в частности – погрешности закрепления. В.А. Горохов предлагает таблицы для определения погрешности закрепления в зависимости от поперечных размеров заготовки и вида опор [1]. Б.Н. Вардашкин приводит расчетную методику определения погрешности закрепления заготовки в приспособлении [2]. Для экспериментального определения погрешности закрепления была разработана и изготовлена установка, показанная на рисунке 1.

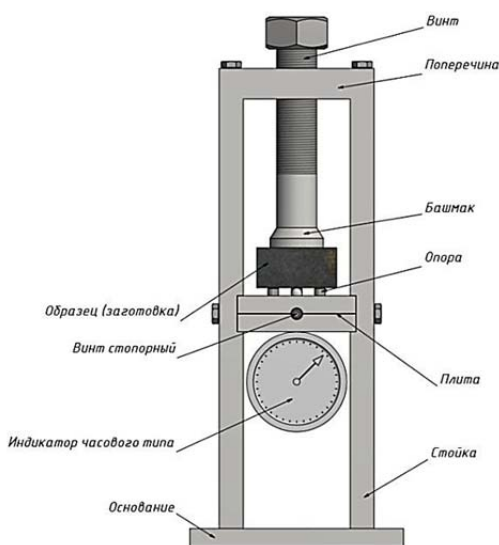


Рисунок 1 – Установка для определения погрешности закрепления заготовок

Были получены расчетные и экспериментальные данные смещения конструкторской базы при зажиме заготовки. Для проведения исследований в виртуальной среде Autodesk Inventor 2017 разработана 3D-модель установки и проведено моделирование ее поведения под действием силы зажима заготовки.

Как видно на рисунке 2, сила направлена верно и смещение конструкторской базы по