

УДК 621.86.078.62

UDC 621.86.078.62

## ВЛИЯНИЕ ТИПА СОРТАМЕНТА НА ПРОЧНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ ПОДЪЕМНИКА

*Боровков А. С., Партко С. А.*

Донской государственной технической  
университет, Ростов-на-Дону, Российская  
Федерация

[borovkov.alexander.s@yandex.ru](mailto:borovkov.alexander.s@yandex.ru)[parlana@rambler.ru](mailto:parlana@rambler.ru)

В статье рассмотрен прочностной анализ рамной конструкции для грузоподъемных устройств «ножничного» типа. Анализ проводился методом конечных элементов среде САПР APM WinMachine (Structure 3D). Оценивалась устойчивость и прочность конструкции рамы, при использовании профилей трех стандартных сечений. Моделировались различные варианты нагружения подъемника. Приведены результаты расчетов и пример возможных перемещений при потере устойчивости.

**Ключевые слова:** метод конечных элементов, устойчивость, стержневая система, изгиб, грузоподъемные машины

**Введение.** Подъемно-транспортные установки, в частности подъемники, являются неотъемлемой частью парка оборудования многих производств. Эта особенность обусловила не только их широкое распространение, но и конструктивное разнообразие. К деталям и узлам подъемных устройств предъявляются высокие требования не только к прочности, но и к устойчивости. Возможности современных САПР CAD/CAE позволяют рационально подойти к проектированию несущих элементов подъемника с учетом критериев прочности и устойчивости.

**Постановка задачи.** Целью работы является сравнительный анализ влияния геометрических параметров различного типового сортамента на устойчивость и прочность несущих элементов ножничного подъемника.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- выбрать наиболее подходящий инженерно-расчетный САПР и способ представления модели конструкции для расчета её напряженно-деформированного состояния в CAD/CAE;
- оценить напряженно-деформированное состояние несущей системы подъемника с учетом типа сортамента и его геометрических параметров.

**Конструктивные особенности подъемной системы и способы оценки её критериев работоспособности.** При использовании подъемно-транспортных систем, рамная конструкция которых может быть представлена в виде стержневой, обязательным критерием работоспособности является не только прочность, но и устойчивость. На данный момент твердотельное моделирование является основным способом представления графической

## INFLUENCE OF GAUGE TYPE ON STRENGTH AND STABILITY OF LIFT CARRYING CAPACITY

*Borovkov A. S., Partko S. A.*

Don State Technical University, Rostov-on-Don,  
Russian Federation

[borovkov.alexander.s@yandex.ru](mailto:borovkov.alexander.s@yandex.ru)[parlana@rambler.ru](mailto:parlana@rambler.ru)

The article considers the strength analysis of the frame structure for "scissor" type load-lifting devices. The analysis was carried out by the APM WinMachine (Structure 3D) finite element environment method. The stability and strength of the frame structures have been evaluated using profiles of three standard sections. Various variants of loading of the lifting machines have been simulated. The paper provides the verification results of calculations and an example of possible displacements.

**Keywords:** finite element method, stability, rod system, bending, lifting machines

информации не только при обучении студентов проектированию [1], но и при промышленном конструировании [2,3]. Существующие отечественные инженерно-расчетные САПР включают разнообразные модули CAE, ориентированные на расчет или конкретных типов передач [4-8], в том числе и по критерию устойчивости [4], или анализ деформации конструкции, представленной в виде твердотельной модели методом конечных элементов [9, 10]. Данный подход неэффективен при расчете рамных конструкций, состоящих из типового сортамента. Для расчета деформаций и прочности такой конструкции корректно представить ее в виде стержневой модели (рис.1) и применять для расчета модуль APM WinMachine (Structure 3D) [10].

**Моделирование и расчет конструкции подъемной системы.** Для анализа пространственной стержневой системы ножничного типа подъема грузов в САД/САЕ АРМ WinMachine (Structure 3D) была построена усреднённая стержневая модель ножничного гидравлического подъемника. Эта система используется для диагностики и проведения ремонтных работ среднегабаритных автомобилей слесарным персоналом. Следовательно, устойчивость данной системы непосредственно влияет на безопасность рабочих, использующих устройство.

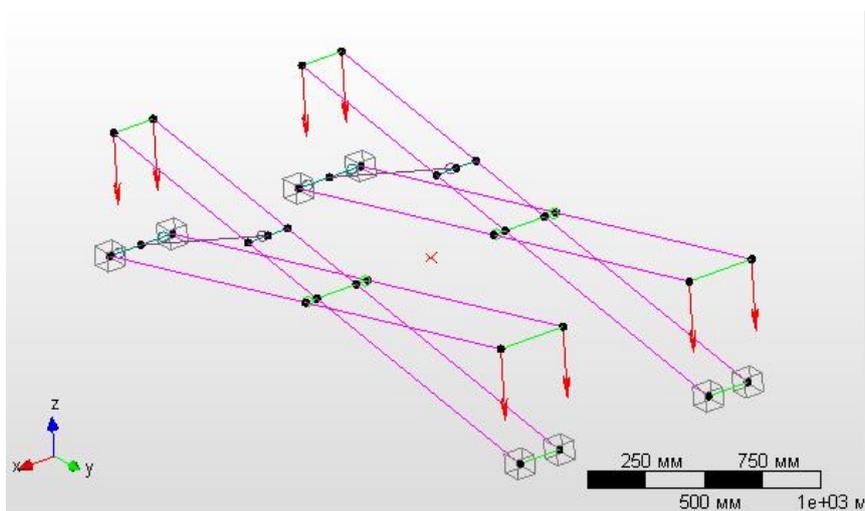


Рис. 1. Ножничный подъемник в виде стержневой системы, вид свободный из среды APM WinMachine (Structure 3D)

В начале проектирования подъемника, неизбежно возникает вопрос о типе используемого сечения и его габаритах. Современная промышленность может предоставить широкий сортамент сечений и прокатов для использования в подобных грузоподъемных системах [10, 11]. Из курса сопротивления материалов известно, что использование сплошных сечений, таких как круглый прокат и квадратный прокат, для подобной конструкции рамы нецелесообразно. Такие сечения, в сравнении с полыми при равной площади, имеют меньшие моменты сопротивления изгибу.

Так как конструкция подъемника имеет осевую симметрию, то была построена упрощённая стержневая система, состоящая из одной подъемной колонны (рис 1).

Для анализа были выбраны сечения наиболее распространенного типа: прямоугольная труба, двутавр и сварной швеллер (рис 2). Наибольшие деформации система испытывает при изгибе, следовательно, главным критерием подбора стандартных сечений является осевой момент сопротивления сечения.

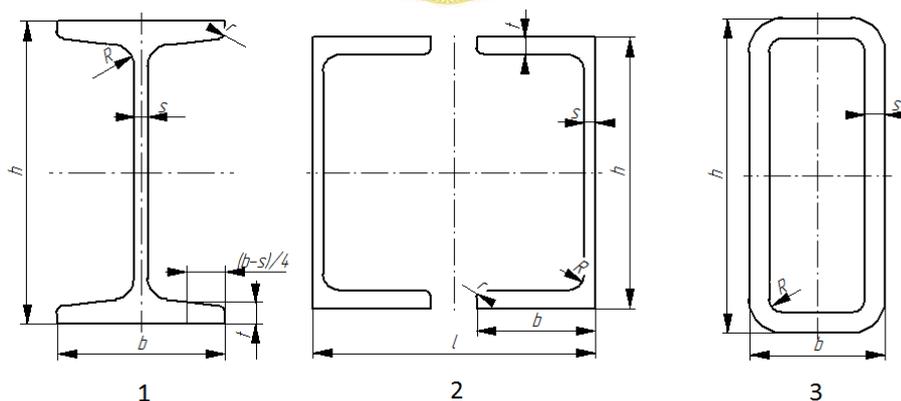


Рис. 2. Типовые сечения, используемые в расчете: 1 — двутавр ГОСТ 8239-89 (140x73); 2 — швеллер сварной ГОСТ 8240-89 (100x112); 3 — прямоугольная труба ТУ 67-2287-89 (140x60x7)

Стержневая система рассчитывалась для предстартового состояния, исходя из того, что в данном положении система испытывает максимальные напряжения на узлы. Угол между опорой и основанием оставляет  $11,5^\circ$ . Используемый материал для сечения Сталь 60. Условие нагрузки на узел — 3125 (Н). Суммарная нагрузка на систему, состоящую из 2 колон (рис 1.) составляет — 25000 (Н) из условия выбранной оси координат.

Расчет конструкции задавался для трёх основных условий: а) все нагрузки, действующие на узлы подъемника расположены строго под  $90^\circ$ ; б) все нагрузки, действующие на узлы подъемника расположены под углом в  $5^\circ$  (данный сценарий расчета предполагает возможный монтаж подъемника под углом к фундаменту); в) нагрузки, действующие на узлы подъемника не симметричны относительно центрального узла и имеют разное направление (например, несимметричная установка автомобиля на платформу).

Результаты расчетов, проводимых методом конечных элементов, для разных сечений конструкции подъемника анализировались следующим критериям:

- по критерию прочности - выдерживает ли данное сечение нагрузку при заданном коэффициенте запаса прочности. Для данной конструкции примем нижний порог коэффициента запаса прочности равный 3.

- по критерию устойчивости конструкции. Для данной системы примем нижний порог коэффициента устойчивости равный 3.

- по пригодности. Для использования данного сечения при изготовлении и сборки рамы.

После проведения численного расчета в среде APM WinMachine (Structure 3D), была составлена сравнительная таблица полученных результатов.

Таблица 1

Результаты расчетов методом конечных элементов

Тип приложенной нагрузки	Вид сечения	Коэффициент запаса прочности	Коэффициент запаса устойчивости	Площадь сечения, мм <sup>2</sup>
Симметричная $90^\circ$	Прямоугольная труба ТУ 67-2287-89 (140x60x7)	3,459	9,487	2506
Симметричная $90^\circ$	Двутавр ГОСТ 8239-89 (140x73)	2,748	2,554	1743
Симметричная $90^\circ$	Швеллер сварной ГОСТ 8240-89 (100x112);	3,558	2,508	2196

Тип приложенной нагрузки	Вид сечения	Коэффициент запаса прочности	Коэффициент запаса устойчивости	Площадь сечения, мм <sup>2</sup>
Под углом 5°	Прямоугольная труба ТУ 67-2287-89 (140x60x7)	2,861	2,563	2506
Под углом 5°	Двутавр ГОСТ 8239-89 (140x73)	2,957	2,571	1743
Под углом 5°	Швеллер сварной ГОСТ 8240-89 (100x112);	2,861	2,550	2196
Не симметричная	Прямоугольная труба ТУ 67-2287-89 (140x60x7)	3,418	2,563	2506
Не симметричная	Двутавр ГОСТ 8239-89 (140x73)	3,4	2,571	1743
Не симметричная	Швеллер сварной ГОСТ 8240-89 (100x112);	3,396	2,589	2196

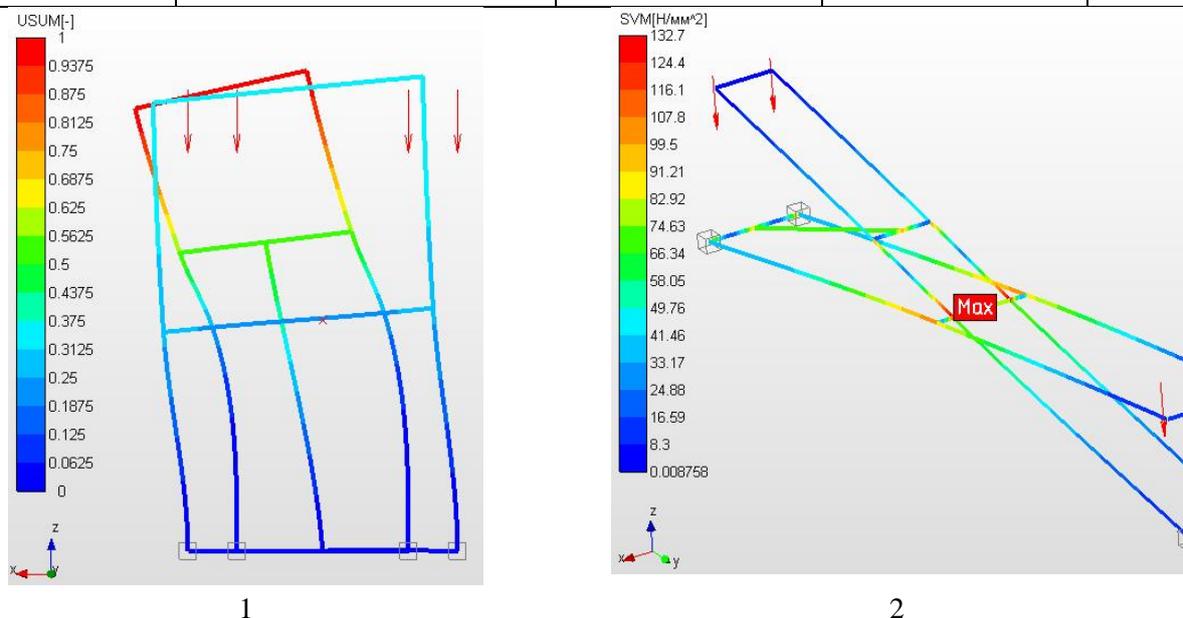


Рис. 3. Пример расчета рамы, сечение двутавр ГОСТ 8239-89 (140x73)

1 — по устойчивости; 2 — по напряжениям

**Заключение.** По итогам расчета установлено:

1. Только сечение, прямоугольная труба ТУ 67-2287-89 (140x60x7), имеет коэффициент запаса устойчивости больше 3, при симметричном нагружении под 90°.
2. При симметричном нагружении под 90°, прямоугольная труба ТУ 67-2287-89 (140x60x7) и Швеллер сварной ГОСТ 8240-89 (100x112) имеют коэффициент запаса прочности больше 3.
3. Двутавр не является пригодным для проектирования грузоподъемных машин, так как поперечное сечение по оси X имеет малую длину и не подходит для использования сквозных отверстий в качестве узлов вращения.

#### Библиографический список

1. Партко, С. А. Трёхмерное моделирование в обучении дисциплине «Детали машин»/ С. А. Партко, А. Г. Дьяченко// Инновационные технологии науке и образовании. ИТНО-2014: сборник научных трудов / ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадемии. — Ростов-на-Дону : 2014. — С. 73–75.

2. Грошев, Л. М. Повышение работоспособности бортового редуктора комбайна серии «ДОН» / Л. М. Грошев, С. А. Партко, А. Г. Дьяченко // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: сборник статей 7-й междунар. науч.-практ. конф. 25–27 февраля 2014 г. в рамках 17-й междунар. агропром. выставки «Интерагромаш-2014». — Ростов-на-Дону, 2014. — С. 89–90.

3. Шабанов, Б. М. Прочностной расчет ковша зернового элеватора (нории) в AutoDesk Inventor / Б. М. Шабанов, Т. П. Савостина, Е. Д. Барсук // Новая наука как результат инновационного развития общества: сб. статей междунар. науч.-практ. конф. в 17 частях. — Сургут : ООО «Агентство международных исследований», 2017. — С. 229–231.

4. Партко, С. А. Особенности конструирования винтовых передач в курсовом и дипломном проектировании с использованием CAD/CAE APM Winmachine / С. А. Партко // Инновационные технологии науке и образовании. ИТНО-2017: материалы V Междунар. науч.-практ. конф. 11–15 сентября 2017 г./ Донской гос. техн. ун-т. — Ростов-на-Дону: ДГТУ-Принт, 2017. — С. 538–542.

5. Партко, С. А. Проектирование планетарных передач в отечественных CAD/CAE APM Winmachine и КОМПАС-3D / С. А. Партко // Инновационные технологии науке и образовании. ИТНО-2017: материалы V Междунар. науч.-практ. конф. 11–15 сентября 2017 г./ Донской гос. техн. ун-т. — Ростов-на-Дону: ДГТУ-Принт, 2017. — С. 542–547.

6. Партко, С. А. Особенности расчета червячной передачи в CAD/CAE APM Winmachine и «Компас» / С. А. Партко// Инновационные технологии науке и образовании. ИТНО-2015: сб. науч. тр. науч. метод. конф., посвящ. 85-летию ДГТУ/ СКНИИМЭСХ Россельхозакадемии. — Ростов-на-Дону : зерноград, 2015. — С.132–137.

7. Сиротенко, А. Н. Особенности проектирования цепной передачи в CAD/CAE КОМПАС-GEARS и APM Winmachine / А. Н. Сиротенко // Инновационные технологии науке и образовании. ИТНО-2017: материалы V Междунар. науч.-практ. конф. 11–15 сентября 2017 г./ Донской гос. техн. ун-т. — Ростов-на-Дону: ДГТУ-Принт, 2017. — С. 570–574.

8. Сиротенко, А. Н. Особенности расчета клиноременной передачи с использованием комплекса программ КОМПАС-GEARS и CAE APM Winmachine / А. Н. Сиротенко // Инновационные технологии науке и образовании. ИТНО-2017: материалы V Междунар. науч.-практ. конф. 11–15 сентября 2017 г./ Донской гос. техн. ун-т. — Ростов-на-Дону : ДГТУ-Принт, 2017. — С. 570–574.

9. Дьяченко, А. Г. Исследование прочностных характеристик комбинированного рабочего органа культиватора-глубококорыхлителя / А. Г. Дьяченко, С. А. Партко, А. Н. Сиротенко // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: мат-лы 7-й Междунар. науч.-практ. конф. рамках 17-й Междунар. агропромышленной выставки «Интерагромаш-2014». — Ростов-на-Дону, 2014. — С. 81–83.

10. Замрий, А. А. Практический учебный курс. CAD/CAE система APM WinMachine. Учебно-методическое пособие — Москва : Издательство АПМ. — 2007. — 144 с.

11. Ануриев, В. И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. — Т. 2. — 8-е изд., перераб. и доп. — под ред. И. Н. Жестковой. — Москва : Машиностроение, 1999. — 880 с.