

Министерство сельского хозяйства РФ  
ФГБОУ ВО «БРЯНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Н.А. Романеев, В.В. Никитин

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ  
ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ  
ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ МАШИН**

Учебное пособие

БРЯНСК 2018

УДК 629.33.013.5 (07)

ББК 39.335.4

Р 69

Романев, Н. А. Автоматизированное проектирование металлоконструкций грузоподъемных машин: учебное пособие / Н. А. Романев, В. В. Никитин. – Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2018. – 56 с.

Учебное пособие предназначено для аудиторной и самостоятельной работы студентов по дисциплине: «Детали машин и основы конструирования, САПР», направления подготовки 35.03.06 «Агроинженерия» профилей «Технические системы в агробизнесе», «Технологическое оборудование для хранения и переработки с/х продукции» и «Технический сервис в АПК».

**Рецензент:** д.с.-х.н., профессор факультета информационных технологий кафедры начертательной геометрии и графики Брянского государственного технического университета Ожерельев В.Н.

*Рекомендовано к изданию методической комиссией инженерно-технологического института, протокол № 7 от 21 февраля 2018 г.*

© Брянский ГАУ, 2018

© Н.А. Романев, 2018

© В.В. Никитин, 2018

## ВВЕДЕНИЕ

Возрастающие требования к качеству проектирования новой техники вызывают необходимость в сокращении сроков проектирования, улучшении основных ее показателей без снижения требований к надежности и в конечном счете к повышению рентабельности машины и ее конкурентоспособности на рынке. Выполнение этих требований становится возможным только при применении новых методов проектирования с использованием высокоэффективных программных продуктов, позволяющих на стадии проектирования производить анализ нагруженности конструкции и назначать ее оптимальные параметры. К программным продуктам, отвечающим вышеперечисленным требованиям, следует отнести систему автоматизированного проектирования АРМ WinMachine. Выбор именно этой САПР для определения оптимальной схемы обоснован тем, что она достаточно проста для освоения и содержит около 20 различных модулей проектирования разных элементов машин и механизмов [1, 2, 3].

Цель использования таких программ – повысить качество проектирования, снизить материальные затраты на него, сократить сроки проектирования и освоения новых видов выпускаемой продукции. Явное преимущество автоматизированного проектирования – возможность заменить математическим моделированием дорогостоящее и продолжительное моделирование. В настоящее время одно из важнейших направлений машиностроения – использование компьютерных технологий для решения сложных задач проектирования. Возможности и границы применения компьютерных технологий для автоматизации проектирования определяются уровнем научно-технических знаний в данной отрасли [4, 5]. В зависимости от конечных целей расчета с учетом материала конструкции определяются напряжения и деформации ее элементов. Затем на основе анализа поля напряжений устанавливается наиболее опасное сечение. Моделирование режимов нагружения позволяет установить наиболее нагруженные участки конструкции и места контакта элементов.

## Задача № 1

Провести статический расчет и расчет на устойчивость модели металлоконструкции крана, изображенного на рис. 1. Размеры стержневых элементов конструкции приведены в миллиметрах. Исходя из стандартных применяемых профилей изготовления, назначаем: элементы конструкции имеют поперечное сечение, указанное в задании, материал – сталь Ст3кп. Соединение стержневых элементов друг с другом жесткое.

### Решение

#### Общий порядок расчета

1. Установка единиц измерения и установка сетки.
2. Создание плоской стержневой модели крана.
3. Присвоение поперечного сечения стержневым элементам модели конструкции и задание параметров материала.
4. Закрепление модели конструкции с помощью опор.
5. Задание силовых факторов, действующих на элементы модели.
6. Выполнение расчета.
7. Просмотр результатов расчета.
8. Вывод результатов расчета на печать и в файл формата \*.rtf.

#### Исходные данные:

Высота подъема крана 4 м, длина стрелы – 3 м, грузоподъемность 0,5 т. Материал изготовления колонны – труба квадратная ГОСТ 30245-2003, стрелы – двутавр № 10, ГОСТ 8239-89, раскоса – равнополочный уголок 63×5 мм, ГОСТ 8309-93. Шаг сетки – 100 мм.

Максимальное напряжение колонны 164 МПа.  
Подобрать размеры сечения колонны

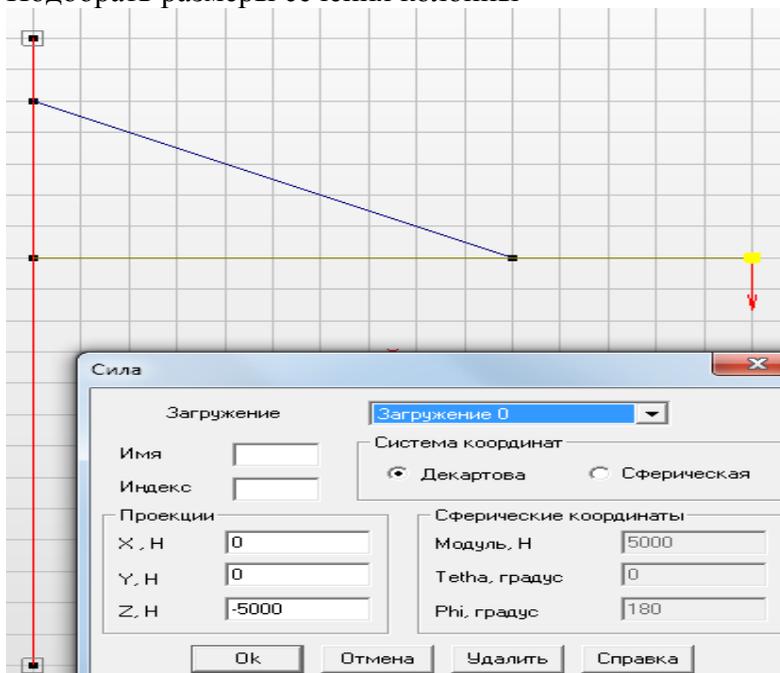
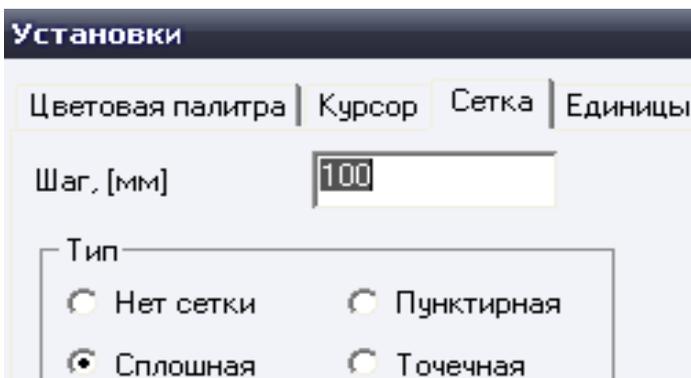


Рисунок 1. Расчетная схема

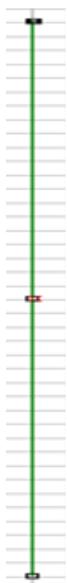
Для удобства создания модели надо выбрать сплошную сетку  с шагом курсора 100, 200 мм или другим.

Убеждаемся в том, что установлены единицы измерения – мм. Единицы измерения показываются на панели статуса, располагающейся в нижней части основного окна программы. Если установлены другие единицы измерения, то необходимо нажать кнопку «Единицы измерения»  (меню Вид/Единицы измерения) и в открывшемся диалоговом окне «Установки» вкладка «Единицы» выбрать Миллиметры.



## 1. Создание плоской стержневой модели крана.

### 1.1. Создание базового (начального) узла.



Создавать модель можно в любом из четырех окон (в котором удобнее пользователю), она будет автоматически изображаться на всех остальных видах [6]. В данном случае будем это делать в окне «Вид спереди», где эта проекция будет наиболее наглядной. Построение стержневой модели начинаем с того, что в произвольном месте выбранного окна ставим начальный (базовый) узел: вначале нажимаем

кнопку «Новый узел»  на панели инструментов «Нарисовать» (меню Рисование/Узел/По координатам), а затем щелкаем левой кнопкой мыши в произвольной точке окна «Вид спереди». Пусть это будет, например, левый нижний узел модели конструкции. При этом необходимо предусмотреть, чтобы вся проекция разместилась в этом окне.

## 1.2. Создание стержня.



Стержни удобно создавать тогда, когда точно определено положение их концов. В этом случае используем режим «Новый стержень», который включается одноименной кнопкой на панели инструментов «Нарисовать»  (меню Рисование/Стержень/По координатам). Для построения нового стержня вначале щелкаем левой кнопкой мыши в области чувствительности привязки к узлу, который будет являться началом создаваемого стержня, а затем, смещая курсор вверх, щелкаем в области того узла, который фиксирует конец стержня. Между этими узлами появится новый стержень длиной 4000 мм. Это будет высота колонны.

Для удобства построений и уменьшения ошибок при построении рекомендуется правой кнопкой корректировать координаты узла, кратные шагу курсора 100 мм.

## 1.3. Создание на стержне узлов.

Для того, чтобы нарисовать стрелу и раскос, необходимо создать узлы.

Нажимаем на панели инструментов «Нарисовать» кнопку «Узел на стержне» . Устанавливаем два узла на колонне (рис. ). Аналогичным образом из первоначального узла строим горизонтальный стержень в направлении слева направо, длиной 3000 мм. Это будет длина стрелы. Создаем на ней узел для растяжки, кнопка «Узел на стержне», на расстоянии  $(0,2 \dots 0,4)L$  от конца стрелы (рис. 1).

#### 1.4. Создание наклонных и пересекающихся стержней.

В этом случае используем режим «Новый стержень», который включается одноименной кнопкой на панели инструментов «Нарисовать»  Для построения нового стержня вначале щелкаем левой кнопкой мыши в области чувствительности привязки к узлу, который будет являться началом создаваемого стержня, а затем, смещая курсор, щелкаем в области того узла, который фиксирует конец стержня. Между этими узлами появится новый стержень, который соединит колонну и стрелу. Это будет растяжка.

1.5. Для объединения близкорасположенных узлов выбираем пункт меню Инструменты/Соединить узлы и в поле ввода открывшегося диалогового окна «Совместить узлы» записываем значение расстояния, на котором будут совмещены узлы, в данном случае пусть это будет 20 мм. Если после нажатия кнопки «ОК» программа выдаст сообщение «Объединено 0 узлов», то это означает, что заданного значения расстояния недостаточно, и эту операцию следует повторить, выбрав большее значение. Таким же образом создаем общие узлы на всех пересекающихся стержнях.

Для проверки правильности построения модели следует сделать кнопкой на панели: Инструменты / «Проверка на связанность». Эта операция покажет, что все стержни в узлах соединены «проверка завершилась успешно».

#### 2. Выделение элементов модели конструкции.

Для выделения отдельных элементов модели можно воспользоваться кнопкой «Выбрать» на панели инструментов «Нарисовать» (меню Редактирование/Выбрать

элемент)  или «Выбрать группу»  (меню Редактирование/Выбрать группу элементов). В нашей задаче необходимо выделить всю плоскую раму целиком, поэтому удобнее воспользоваться режимом выделения группы элементов. После перехода в режим «Выбрать

группу»  (меню Редактирование/Выбрать группу элементов) следует, нажав левую кнопку мыши, создать прямоугольник, в который будет вписана плоская рама. Элементы крана выделяются и будут показаны красным цветом. Для этой операции лучше всего подходит вид сверху или слева. Снятие выделения производится щелчком правой кнопкой мыши в свободном месте поля редактора в одном из режимов выбора элементов.

3. Задание поперечного сечения стержневым элементом конструкции.

Для задания стандартного сечения всем элементам достаточно взять его из библиотек стандартных сечений, которые поставляются вместе с модулем АРМ Structure3D. Если сечение нестандартное, то оно должно быть предварительно помещено в одну из библиотек сечений.

Переходим в режим задания поперечного сечения стержням (допустим раскошу) нажатием на панели инструментов «Свойства» кнопки «Сечения стержням»

 (меню Свойства/Сечения стержням), после чего открывается диалоговое окно «Библиотека: ...». Для этого этот стержень необходимо выделить . Затем необходимо загрузить требуемую библиотеку. Для этого нажимаем кнопку «Загрузить» и указываем путь к этой библиотеке, находим «Равнополочный уголок 63×5».

Стандартные библиотеки располагаются в той же директории, где установлена система APM WinMachine.

Аналогично задаем сечение колонне и стреле. Перед запуском модели конструкции на расчет всем стержневым элементам модели должно быть присвоено поперечное сечение.

#### 4. Удаление лишних элементов модели конструкции.

Удаление выделенных элементов производится нажа-

тием кнопки  «Удалить выбранное» на панели инструментов «Нарисовать» (меню Рисование/Удалить выбранное) или нажатием клавиши Delete на клавиатуре.

#### 5. Закрепление модели конструкции с помощью опор.

По условию задачи, колонна крана установлена на двух абсолютно жестких шарнирных опорах. Из конструктивных соображений на нижней стороне модели поставим шаровые шарниры, а в верхней опоре — шарниры с разрешением перемещения вдоль направления оси колонны.

Для установки шаровых шарниров выделим узел в нижней части модели крана. Затем нажимаем на панели

инструментов «Нарисовать» кнопку «Опора»  (меню Рисование/Опора) и щелкаем на одном из выделенных узлов. Открывается диалоговое окно «Установка опоры», в полях ввода которого задаем тип устанавливаемых опор. В нашем случае для установки шарнирных шаровых опор достаточно запретить все перемещения, т.е. поставить флажки опций Запрет по X, Запрет по Y и Запрет по Z или же нажать кнопку «Шарнирная опора»

, в результате чего флажки запретов перемещения по всем координатам появятся автоматически. В верх-

нем узле модели конструкции крана устанавливаем такой же тип опоры, но снимаем флажок с опции Запрет по Z. На этом установка опор закончена.

6. Задание силовых факторов, действующих на элементы модели.

Балка будет находиться под действием двух силовых факторов:

- собственного веса;
- нагрузки.

#### 6.1. Учет собственного веса конструкции.

Собственный вес конструкции – распределенная сила, приложенная ко всем элементам модели конструкции, действующая в направлении, противоположном оси Z глобальной системы координат. Для учета собственного веса в меню Нагрузки выбираем Загружения... и в открывшемся диалоговом окне «Загружения» задаем множитель собственного веса для Загружения 0. По умолчанию всегда создается Загружение 0, которое активно и включено (т. е. в окнах редактора отображаются те нагрузки, которые в нем находятся). В этом загрузении будут находиться все действующие на модель силовые факторы. О том, что это загрузение активно, говорит флажок, расположенный слева от названия загрузения. В этом загрузении (как и в любом другом) есть множитель собственного веса, по умолчанию равный нулю (т.е. вес конструкции при таком значении множителя учитываться не будет). Для учета собственного веса следует изменить этот множитель на 1. Делается это так. Сначала необходимо выделить Загружение 0, щелкнув на нем левой кнопки мыши, а затем нажать кнопку «Изменить». После нажатия этой кнопки откроется диалоговое окно «Загружение», в поле ввода которого записываем множитель 1.

Нагрузка на балку задается по оси  $Z$ , приложенной к узлу (ось направлена вверх) значком  по этой оси (-5000 Н), поскольку ее направление противоположно оси  $Z$  (рис. ).

#### 7. Просмотр результатов расчета.

Нажимаем «Расчет»

После выполнения расчета можно посмотреть:

Карты результатов по напряжениям, перемещениям и нагрузкам.

Числовые значения максимального напряжения, перемещения в произвольном сечении стержневых элементов.

Распределение напряжений в произвольном сечении стержней.

Значения реакций во всех опорах модели конструкции.

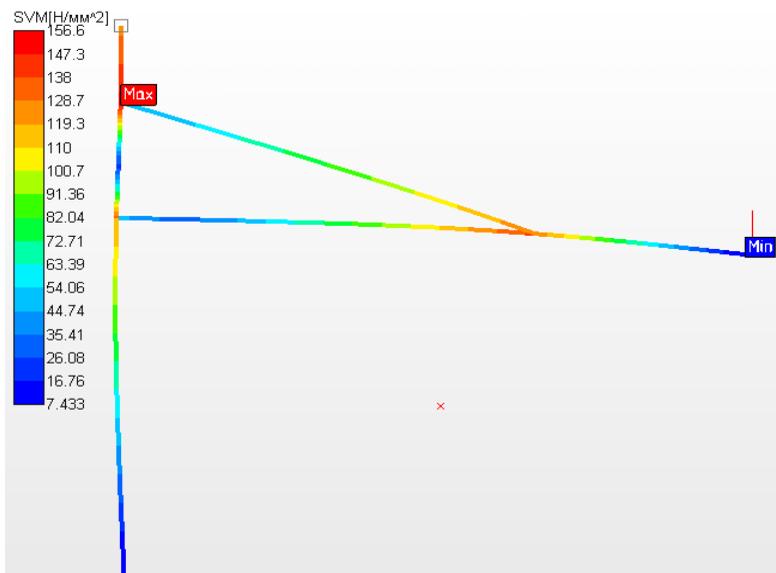
Коэффициент запаса по устойчивости, форму потери устойчивости и массу металлоконструкции.

Анализ результатов расчета проиллюстрируем на примере просмотра карты напряжений, распределения напряжений в поперечном сечении и результатов расчета на устойчивость.

#### 8. Просмотр карты результатов.

Выбираем в меню: Результаты, пункт Карта результатов..., что приводит к появлению диалогового окна «Параметры вывода результатов».

Из списка: Выбор результатов, выбираем тип карты результатов (по напряжениям, перемещениям или нагрузкам). После этого на экране монитора открывается карта напряжений, на которой с помощью различных цветов показываются величины эквивалентных напряжений в стержневых элементах модели конструкции. Также можно посмотреть сортамент, используемый для изготовления крана и его общую массу.



### 8.1 Просмотр напряжений в поперечном сечении стержня.

Пользователь имеет возможность просмотреть распределение напряжений в поперечном сечении любого из стержневых элементов. Для этого нужно войти в меню Результаты/Напряжения в сечении... и указать нужный стержень, щелкнув по нему левой кнопкой мыши. На этом стержне появится небольшая стрелка, которая при движении мыши перемещается по выбранному стержню. С помощью этой стрелки следует уточнить конкретное положение сечения на стержне. Шкала напряжений показывает диапазон напряжений, которые имеют место в конкретном поперечном сечении. С помощью значка поворот  можно повернуть кран по любой из трех осей, а также просмотреть объемное изображение  (рис.)

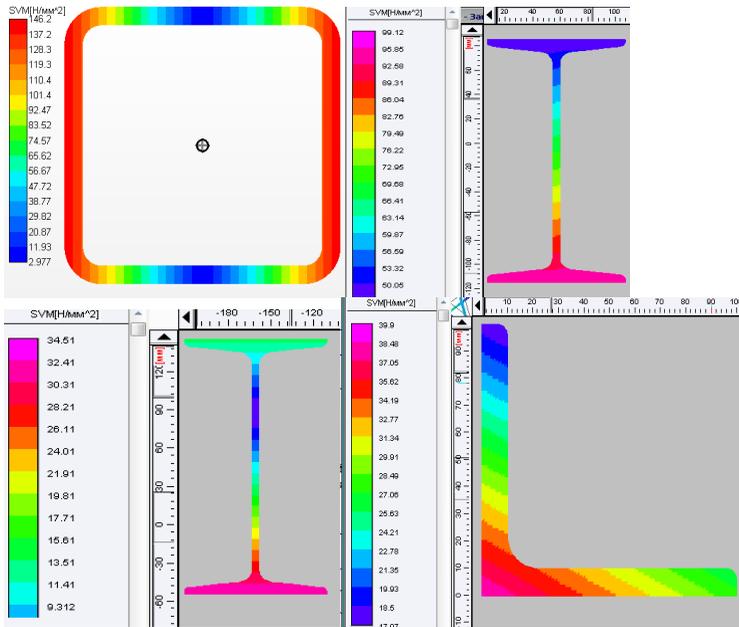


Рисунок 2. Напряжения в разных сечениях крана

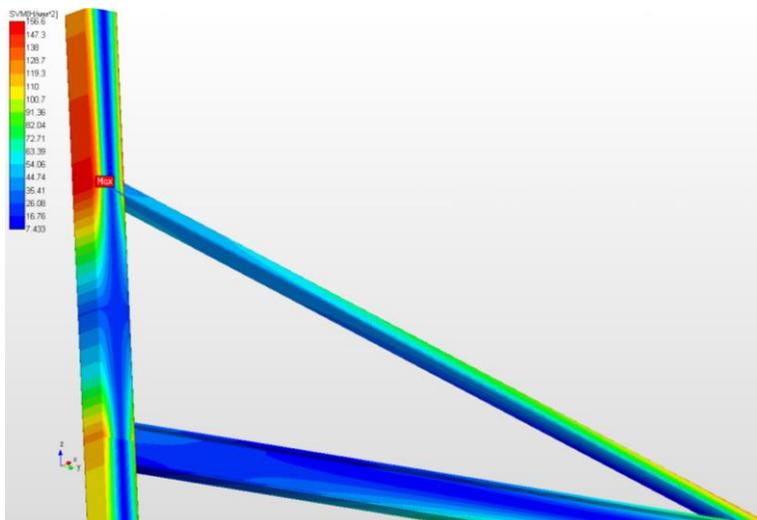


Рисунок 3. Распределение зон концентрации напряжений в кране

## 8.2 Просмотр результатов расчета устойчивости.

Для просмотра результатов расчета по устойчивости конструкции выбираем пункт меню Результаты/Устойчивость... В открывшемся диалоговом окне «Устойчивость» показывается величина коэффициента запаса устойчивости. Чтобы выяснить, какие именно элементы теряют устойчивость, нажмите кнопку «Форма» - в появившемся диалогом окне будет показана форма потери устойчивости, на которой будут видны элементы, теряющие устойчивость в первую очередь.

На форме потери устойчивости видно, что будут в первую очередь терять устойчивость колонна крана, там максимальные напряжения.

Таблица 1 – Расход материала на изготовление крана

Расход					
Стержни					
Название	Количество	Длина [мм]	Погонная масс...	Масса изделия...	Общая масса[кг]
Сталь					
Кв. труба 90x6 ГОСТ 30...	1	400.000	0.02	6.00	6.00
Кв. труба 90x6 ГОСТ 30...	1	600.000	0.02	9.00	9.00
Кв. труба 90x6 ГОСТ 30...	1	3000.000	0.02	45.01	45.01
Двутавр с уклоном №10...	1	2000.000	0.01	18.80	18.80
Двутавр с уклоном №10...	1	1000.000	0.01	9.40	9.40
L 63x5 ГОСТ 8509-93	1	2088.061	0.00	9.98	9.98
Всего для сечения					
Кв. труба 90x6 ГОСТ 30...	3	4000.000	0.02	60.01	60.01
Двутавр с уклоном №10...	2	3000.000	0.01	28.19	28.19
L 63x5 ГОСТ 8509-93	1	2088.061	0.00	9.98	9.98
Всего для материала					98.19

Устойчивость	
Коэффициент запаса устойчивости	8.139
<input type="button" value="OK"/>	<input type="button" value="Форма..."/>

**Реакции в опорах**

Тип расчета: Статический расчет      Загрузка: [...]

N	N узла	Rx [H]	Ry [H]	Rz [H]	Mx [H*мм]	My [H*мм]	Mz [H*мм]	UX [mm]
1	0	-1.1851	-3150	0.0000	6.1376e+06	3577.5	-0.0000	0.0000
2	1	1.1851	3150	5000	-3.7377e+06	1162.9	0.0000	0.0000

Суммарные реакции выделенных опор

Rx : -1.1851	Ry : -3150	Rz : 0.0000	RSUM : 3150
Mx : 6.1376e+06	My : 3577.5	Mz : 0.0000	MSUM : 6.1376e+06

Рисунок 4. Коэффициент устойчивости и реакции в опорах крана

## Задача №2

Провести статический расчет и расчет на устойчивость модели металлоконструкции кран-балки, изображенной на рис. 1. Размеры стержневых элементов конструкции приведены в миллиметрах. Исходя из стандартных применяемых профилей изготовления однобалочных мостов с пространственной фермой, назначаем: элементы конструкции имеют поперечное сечение: балка - двутавр № 20 с уклоном полок по ГОСТ 8239-89, раскосы – уголок №5, материал – сталь СтЗкп. Соединение стержневых элементов друг с другом жесткое. Ширина пролета моста 12000 мм, 6 секций по 2000 мм, высота 1000 мм, вес груза 100 кН. Пролет моста установлен на четырех шарнирных опорах, располагающихся по углам нижнего основания.

### Решение

#### Общий порядок расчета

1. Создание плоской стержневой модели рамы моста.
2. Умножение плоской рамы с целью создания трехмерной модели стержневой конструкции.
3. Присвоение поперечного сечения стержневым элементам модели конструкции и задание параметров материала.
4. Закрепление модели конструкции с помощью опор.
5. Задание силовых факторов, действующих на элементы модели.
6. Выполнение расчета.
7. Просмотр результатов расчета.
8. Вывод результатов расчета на печать и в файл формата \*.rtf.

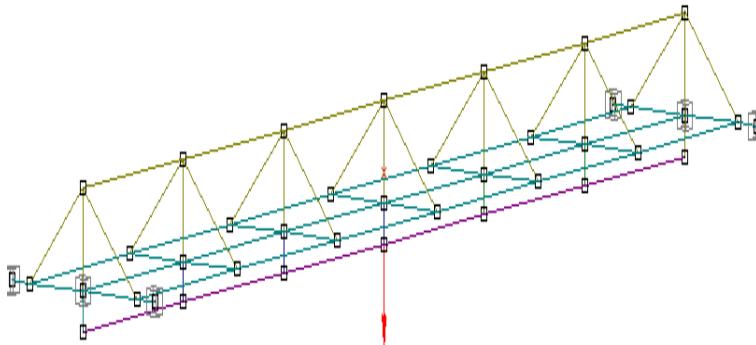


Рисунок 1. Расчетная схема кран-балки

1. Создание плоской стержневой модели рамы моста.
  - 1.1. Установка единиц измерения.

Убеждаемся в том, что установлены единицы измерения – мм. Единицы измерения показываются на панели статуса, располагающейся в нижней части основного окна программы. Если установлены другие единицы измерения, то необходимо нажать кнопку «Единицы измерения»



(меню Вид/Единицы измерения) и в открывшемся диалоговом окне «Установки» вкладка «Единицы» выбрать Миллиметры. Для удобства создания модели надо выбрать сплошную сетку с шагом курсора 100 мм.

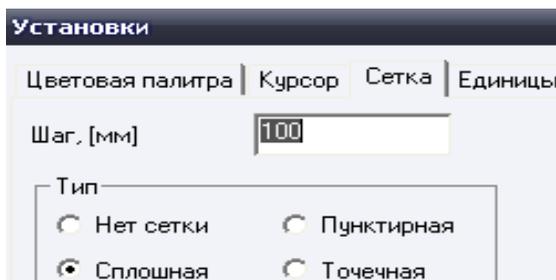


Рисунок 2. Установка шага сетки

## 1.2. Создание базового (начального) узла.

Создавать модель можно в любом из четырех окон (в котором удобнее пользователю), она будет автоматически изображаться на всех остальных видах. В данном случае будем это делать в окне «Вид слева», где эта проекция будет наиболее наглядной. Построение стержневой модели начинаем с того, что в произвольном месте выбранного окна ставим начальный (базовый) узел: вна-

начале нажимаем кнопку «Новый узел»  на панели инструментов «Нарисовать» (меню Рисование/Узел/По координатам), а затем щелкаем левой кнопкой мыши в произвольной точке окна «Вид слева». Пусть это будет, например, левый нижний узел модели конструкции. При этом необходимо предусмотреть, чтобы вся проекция разместилась в этом окне [6].

Для удобства построений и уменьшения ошибок при построении рекомендуется правой кнопкой корректировать координаты узла, кратные шагу курсора 100 мм.

## 1.3. Создание стержня.

Такие стержни удобно создавать тогда, когда точно определено положение их концов. В этом случае используем режим «Новый стержень», который включается одноименной кнопкой на панели инструментов «Нарисовать»  (меню Рисование/Стержень/По координатам). Для построения нового стержня вначале щелкаем левой кнопкой мыши в области чувствительности привязки к узлу, который будет являться началом создаваемого стержня, а затем, смещая курсор вправо, щелкаем в области того узла, который фиксирует конец стержня. Между этими узлами появится новый стержень длиной 2000 мм.

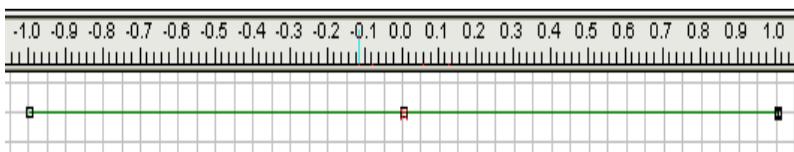


Рисунок 3. Нижний стержень кран-балки

Новые стержни создаем, а затем используем режим разбиения стержня на равные части. Если эта операция будет одновременно применяться к нескольким стержням, то эти стержни необходимо предварительно выделить. Для разбиения стержней нажимаем на панели инструментов «Нарисовать» кнопку «Разбить стержень»



(меню Рисование/Стержень/Разбить стержень) и щелкаем указателем мыши по одному из выделенных стержней. В поле ввода Число стержней в открывшемся диалоговом окне «Разбить стержень» записываем 2.

#### 1.4. Создание перпендикулярного стержня жесткости.

Из середины горизонтального стержня создаем вертикальный стержень длиной 1000 мм (рис. 4). Правой кнопкой корректируем координаты узла, кратные шагу курсора 100 мм.

#### 1.5. Создание наклонных и пересекающихся стержней.

Их удобно создавать тогда, когда точно определено положение их концов. В этом случае используем режим «Новый стержень», который включается одноименной



кнопкой на панели инструментов «Нарисовать» (меню Рисование/Стержень/По координатам). Для построения нового стержня вначале щелкаем левой кнопкой мыши в области чувствительности привязки к узлу, который будет являться началом создаваемого стержня,

а затем, смещая курсор, щелкаем в области того узла, который фиксирует конец стержня. Между этими узлами появится новый стержень. Таким же образом строим стержни, соединяющие верхние части плоской рамы, а также пересекающиеся стержни. Получился равнобедренный треугольник.

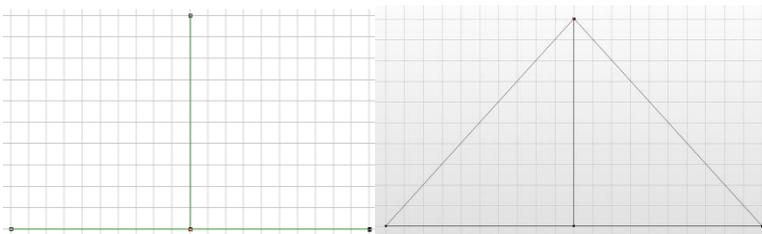


Рисунок 4. Схема первой секции металлоконструкции

2. Умножение плоской рамы с целью создания трехмерной модели стержневой конструкции.

После выполнения всех предыдущих операций получаем плоскую раму, соответствующую боковой секции моста. Для того чтобы эту модель преобразовать в трехмерную, следует произвести операцию умножения, предварительно выделив подлежащие умножению элементы.

### 2.1. Выделение элементов модели конструкции.

Для выделения отдельных элементов модели можно воспользоваться кнопкой «Выбрать» на панели инструментов «Нарисовать» (меню Редактирование/Выбрать

элемент)  или «Выбрать группу»  (меню Редактирование/Выбрать группу элементов). В нашей задаче необходимо выделить всю плоскую раму целиком, поэтому удобнее воспользоваться режимом выделения группы элементов. После перехода в режим «Выбрать

группу»  следует, нажав левую кнопку мыши, создать прямоугольник, в который будет вписана плоская рама. Элементы рамы выделяются и будут показаны красным цветом. Для этой операции лучше всего подходит вид сверху или спереди. Снятие выделения производится щелчком правой кнопкой мыши в свободном месте поля редактора в одном из режимов выбора элементов.

## 2.2. Умножение элементов модели конструкции.

Переход в этот режим осуществляется нажатием

кнопки «Умножить»  на панели инструментов «Инструменты» (меню Инструменты/Умножить). Затем нужно показать направление с помощью вектора умножения. Первым щелчком мыши фиксируем начало этого вектора, затем смещаем мышью – указываем направление умножения, и вторым щелчком завершаем длину вектора умножения. Одновременно с последним щелчком мыши открывается диалоговое окно «Умножить контур». В полях ввода этого окна можно уточнить параметры умножения.

Операцию умножения удобнее всего производить в окне «Вид сверху», поскольку на этом виде направление умножения будет показываться в натуральную величину, но возможно использовать и любой другой вид, например «Вид спереди». Если не выполняется других операций, то можно сделать 6 секций, но т.к. мы делаем 2 диагональных раскоса, то указываем 2 секции умножения и рисуем раскосы балки. Получаем такую конструкцию (рис. 6).

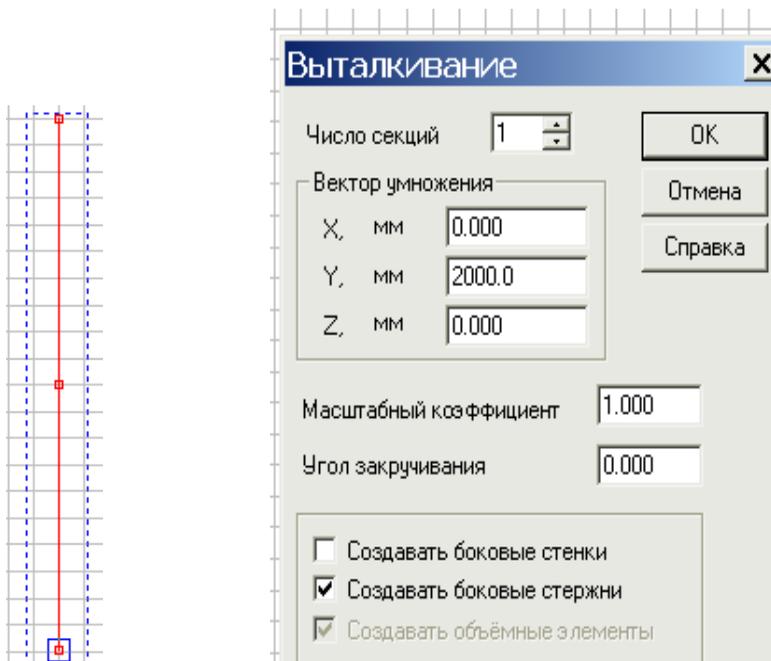


Рисунок 5. Вид сверху и задание на умножение секции

В поле диалогового окна «Умножить контур» вводим следующие параметры умножения:

Число секций – 2;

Вектор Умножения по Y, мм – 2000;

X и Z, мм – эти поля оставляем нулевыми.

Кроме того, опция «Создавать боковые стержни» должна отмечена флажком.

Добавление необходимых элементов в модель конструкции. В созданной предыдущими действиями модели не хватает диагональных пересекающихся стержней, соединяющих узлы верхнего яруса конструкции. Диагональные стержни можно выполнить и на произвольном виде.

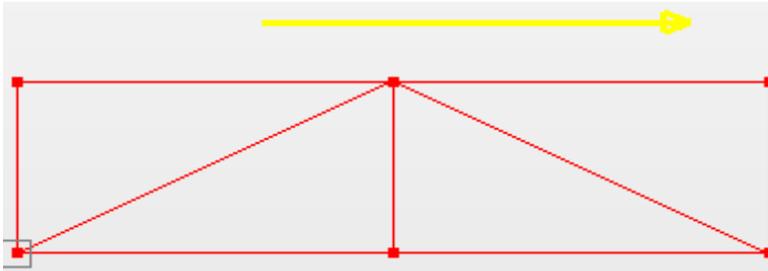


Рисунок 6. Вид спереди первой секции кран-балки

Важно обратить внимание на то, что все стержни должны пересекаться в узлах. Для этого следует сделать проверку модели на связанность. Правильным результатом построения будет «Проверка прошла успешно».

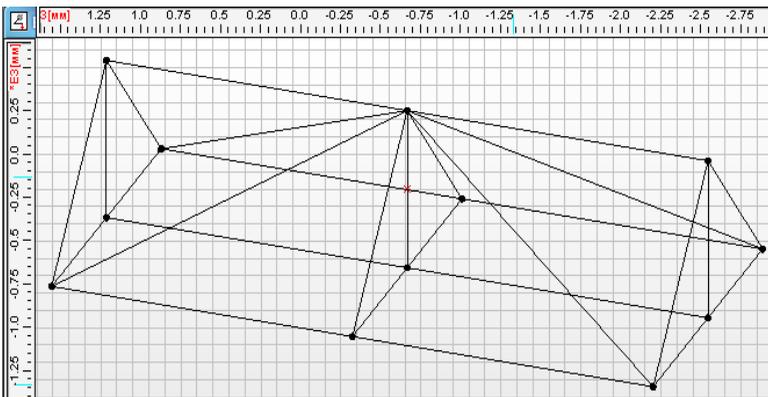


Рисунок 7. Полученная проекция балки в произвольном виде

Затем умножаем полученную конструкцию на 3 части, получаем 6 секций.

### 2.3. Удаление лишних элементов модели конструкции.

После выполнения операции умножения (при включенном флажке опции Создать боковые стержни) в

направлении размножения появятся новые стержни, начала которых находятся в выделенных узлах.

Построенная на этом этапе модель конструкции почти полностью соответствует той, которую следует создать. Однако в процессе умножения можно получить лишние стержни. Их следует удалить. Для этого выделяем эти

элементы, нажав кнопку «Выбрать»  на панели инструментов «Нарисовать» (меню Редактирование/Выбрать элемент) и щелкнув левой кнопкой мыши на конкретном стержне (для выделения группы элементов нужно держать нажатой клавишу Shift на клавиатуре, в противном случае при выделении последующего элемента со всех предыдущих выделение будет снято). Удаление выделенных элементов производится нажатием

кнопки  «Удалить выбранное» на панели инструментов «Нарисовать» (меню Рисование/Удалить выбранное) или нажатием клавиши Delete на клавиатуре.

3. Присвоение поперечного сечения стержневым элементам модели конструкции и задание параметров материала.

Перед запуском модели конструкции на расчет всем стержневым элементам модели должно быть присвоено поперечное сечение.

3.1. Задание поперечного сечения стержневым элементам конструкции.

Для задания стандартного сечения всем элементам достаточно взять его из библиотек стандартных сечений, которые поставляются вместе с модулем APM Structure3D. Если сечение нестандартное, то оно должно быть предварительно помещено в одну из библиотек сечений.

Переходим в режим задания поперечного сечения стержням нажатием на панели инструментов «Свойства»

кнопки «Сечения всем»  (меню Свойства/Сечения всей конструкции), после чего открывается диалоговое окно «Библиотека: ...». Затем необходимо загрузить требуемую библиотеку. Это делается с целью сокращения времени построения, т.к. большинство элементов выполнены из уголка. Для этого нажимаем кнопку «Загрузить» и указываем путь к этой библиотеке, находим «Равнополочный уголок 50×8». Стандартные библиотеки располагаются в той же директории, где установлена система APM WinMachine. Программа просит подтвердить задание сечения всем стержням.

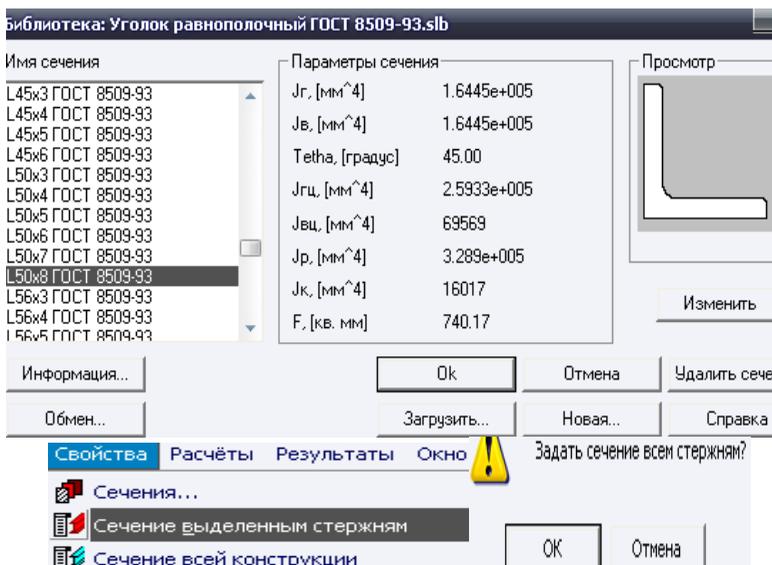


Рисунок 8. Задание профиля конструкции балки

Потом выделяем нижний стержень, по которому перемещается тележка, и назначаем другой профиль сечения. После загрузки библиотеки из списка Имя сечения

выбираем нужное по условию сечение – Двутавр с уклоном № 20 ...и нажимаем кнопку «ОК». После этого в открывшемся диалоговом окне подтверждаем свое желание задать выбранное сечение всем стержням (рис. 8). Ориентация сечения будет произведена программой автоматически.

Узлы соединений металлоконструкции различных профилей можно посмотреть в объемном изображении (рис. 9).

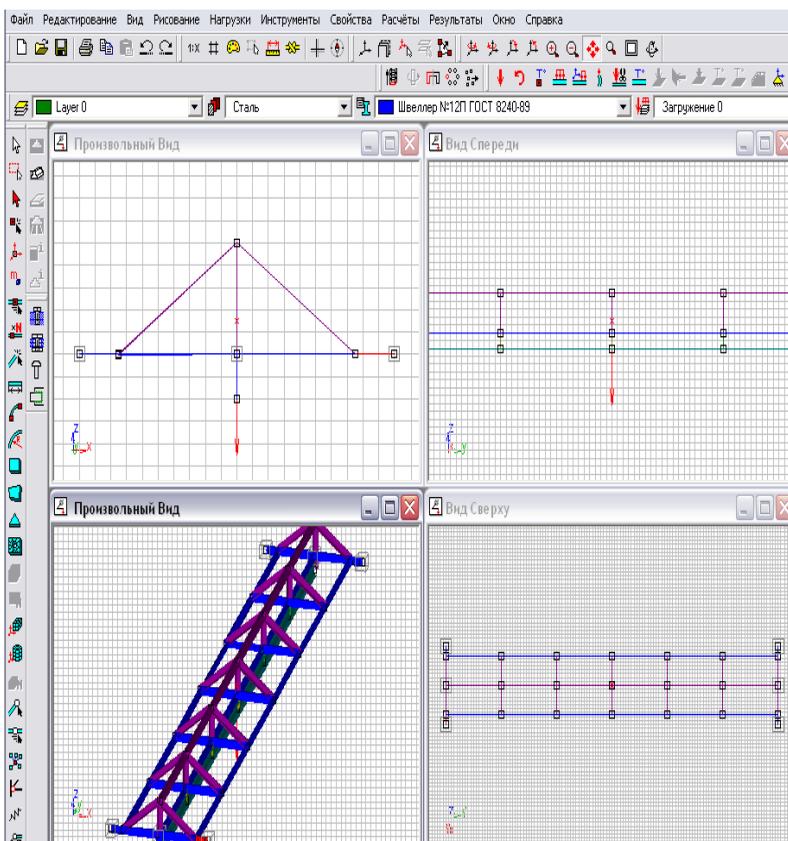


Рисунок 9. Расположение кран-балки в окнах программы

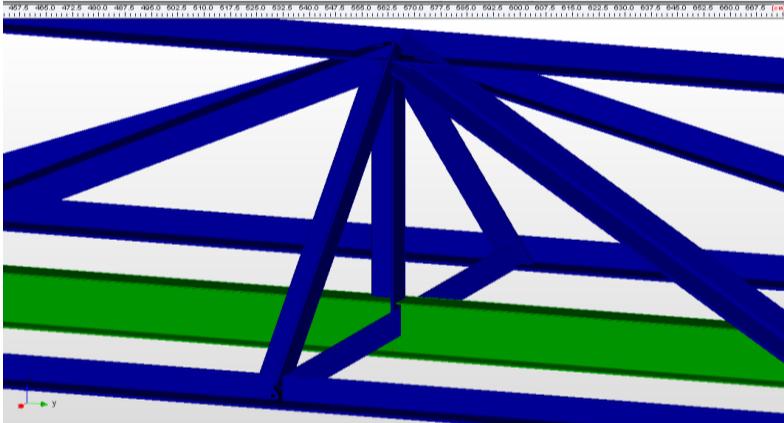


Рисунок 10. Объемное изображение узлов балки

### 3.2. Проверка ориентации сечения и его поворот.

Для того чтобы просмотреть, как ориентировано поперечное сечение на том или ином стержне, следует этот элемент выделить, а затем нажать на панели инструментов

«Свойства» кнопку «Ориентация сечения»  (меню Свойства/Ориентация сечения). На выделенных стержнях будет показано положение сечения. Если сечение слишком маленькое (большое), то увеличить (уменьшить) его показ можно с помощью кнопки «+» («-») на клавиатуре.

В этом же режиме можно поворачивать сечение отдельного стержня (или группы предварительно выделенных стержней) вокруг своей оси, для чего нужно щелкнуть мышью в непосредственной близости от этого стержня. При этом показываемое красным цветом сечение станет зеленым. Перемещение мыши по полю вида в горизонтальном направлении будет сопровождаться поворотом сечения вокруг своей оси. Внизу, на панели статуса, появится числовое значение угла поворота данного сечения в градусах. Шаг угла поворота равен шагу кур-

сора в угловом направлении, по умолчанию принимаемому за 1 градус. Щелчком правой кнопкой мыши в процессе поворота вызывается диалоговое окно, в котором можно задать в числовом виде угол поворота сечения.

3.3. Задание параметров материала стержневым элементам конструкции.

В общем случае параметры материала стержней могут быть заданы аналогично тому, как были заданы параметры материала для пластин, но в нашем случае все проще. По умолчанию новым элементам присваиваются свойства того материала, который установлен по умолчанию. Таким материалом является сталь Ст3, что и соответствует условию нашей задачи [7].

4. Закрепление модели конструкции с помощью опор.

По условию задачи, пролет моста установлен на четырех абсолютно жестких шарнирных опорах. Из конструктивных соображений на одной стороне модели поставим шаровые шарниры, а с противоположной стороны – шарниры с разрешением перемещения вдоль направления оси моста.

Шарниры устанавливаются в узлах. Для установки шаровых шарниров выделим два узла в «ближней» к нам части модели моста. Затем нажимаем на панели инстру-



ментов «Нарисовать» кнопку «Опора» (меню Рисование/Опора) и щелкаем на одном из выделенных узлов. Открывается диалоговое окно «Установка опоры», в полях ввода которого задаем тип устанавливаемых опор. В нашем случае для установки шарнирных шаровых опор достаточно запретить все перемещения, т.е. поставить флажки опций Запрет по X, Запрет по Y и Запрет

по Z или же нажать кнопку «Шарнирная опора» , в результате чего флажки запретов перемещения по всем координатам появятся автоматически. В узлах с другой стороны модели конструкции моста устанавливаем такой же тип опоры, но снимаем флажок с опции Запрет по Y. На этом установка опор закончена.

5. Задание силовых факторов, действующих на элементы модели.

Балка будет находиться под действием двух силовых факторов:

- собственного веса;
- нагрузки

#### 5.1. Учет собственного веса конструкции.

Собственный вес конструкции – распределенная сила, приложенная ко всем элементам модели конструкции, действующая в направлении, противоположном оси Z глобальной системы координат. Для учета собственного веса в меню Нагрузки выбираем Загружения... и в открывшемся диалоговом окне «Загружения» задаем множитель собственного веса для Загружения 0. По умолчанию всегда создается Загружение 0, которое активно и включено (т. е. в окнах редактора отображаются те нагрузки, которые в нем находятся). В этом загрузении будут находиться все действующие на модель силовые факторы. О том, что это загрузение активно, говорит флажок, расположенный слева от названия загрузения. В этом загрузении (как и в любом другом) есть множитель собственного веса, по умолчанию равный нулю (т.е. вес конструкции при таком значении множителя учитываться не будет). Для учета собственного веса следует изменить этот множитель на 1. Делается это так. Снача-

ла необходимо выделить Загрузка 0, щелкнув на нем левой кнопки мыши, а затем нажать кнопку «Изменить». После нажатия этой кнопки откроется диалоговое окно «Загрузка», в поле ввода которого записываем множитель 1.

Пользователь имеет возможность записать в это поле ввода значение, отличное от единицы. Это приведет к тому, что вес будет учитываться с соответствующим множителем.

Внимание! Если в конструкции создано несколько загрузок и рассчитывается комбинация из нескольких загрузок, то для учета действия собственного веса множитель собственного веса необходимо вводить только в одном из загрузок, входящих в эту комбинацию.

Нагрузка на балку задается по оси Z, приложенной к узлу (ось направлена вверх) значком  по этой оси (-100 000 Н), поскольку ее направление противоположно оси Z (рис. 11).

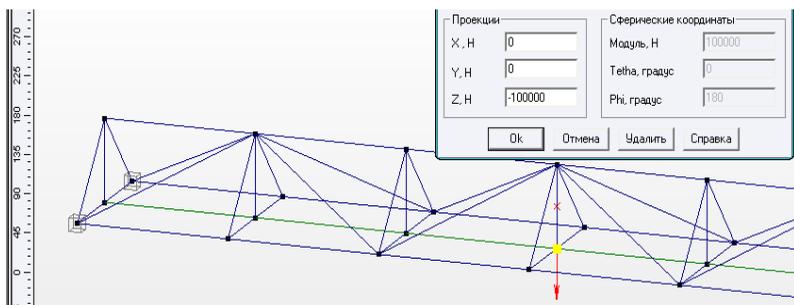


Рисунок 11. Расчетная схема. Закрепление опор и приложение нагрузки.

## 6. Выполнение расчета.

Для запуска модели конструкции на расчет следует выбрать в меню Расчет пункт Расчет... и в открывшемся

диалоговом окне «Расчет» указать тот тип расчета, который необходимо выполнить. В нашей задаче это будет Статический расчет и Устойчивость, поэтому отмечаем эти типы расчета флажками.

#### 7. Просмотр результатов расчета.

После выполнения расчета пользователь имеет возможность посмотреть:

Карты результатов по напряжениям, перемещениям и нагрузкам.

Числовые значения максимального напряжения, перемещения в произвольном сечении стержневых, пластинчатых и твердотельных элементов.

Распределение напряжений в произвольном сечении стержневых элементов.

Значения реакций во всех опорах модели конструкции.

Значения всех силовых факторов во всех узлах модели конструкции.

Эпюры всех силовых факторов в стержневых элементах модели конструкции.

Коэффициент запаса по устойчивости и форму потери устойчивости.

Анализ результатов расчета проиллюстрируем на примере просмотра карты напряжений, распределения напряжений в поперечном сечении, величин силовых факторов для стержневого элемента в узле, а также эпюры силовых факторов для выбранного стержня и результатов расчета на устойчивость.

#### 8. Просмотр карты результатов.

Выбираем в меню: Результаты, пункт Карта результатов..., что приводит к появлению диалогового окна «Параметры вывода результатов».

Из списка: Выбор результатов, выбираем тип карты

результатов (по напряжениям, перемещениям или нагрузкам), а из списков Стержни выбираем те элементы, результаты расчета которых нас интересуют. После этого на экране монитора открывается карта напряжений, на которой с помощью различных цветов показываются величины эквивалентных напряжений в пластинчатых и стержневых элементах модели конструкции.

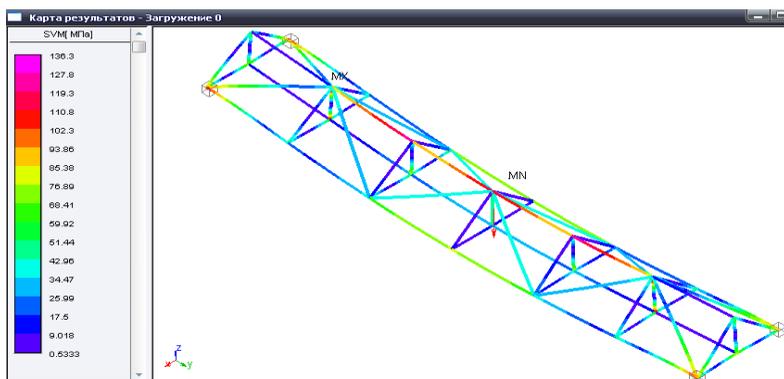


Рисунок 12. Распределение напряжений в металлоконструкции кран-балки

Важно, что на карте напряжений с помощью соответствующего цвета показан максимальный уровень эквивалентных напряжений в стержнях конструкции. Карта напряжений построена на деформированной модели, но на ней показывается также и исходная недеформированная модель (черным цветом). Максимальное число на шкале напряжений соответствует максимальному напряжению во всей конструкции, в зависимости от режима работы крана составляет 140...160 МПа.

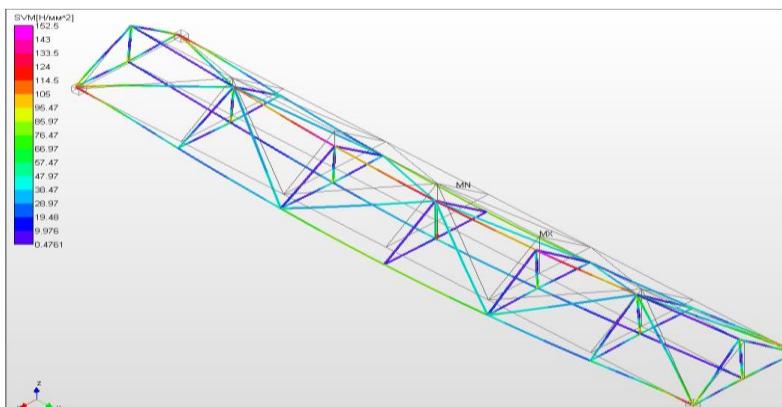


Рисунок 13. Деформация балки

9. Просмотр внутренних силовых факторов в узлах элементов.

Для просмотра внутренних нагрузок в узлах элементов выбираем в меню Результаты, пункт Нагрузки... Затем в открывшемся диалоговом окне «Результаты» указываем тот элемент, результаты расчета которого необходимо просмотреть. Выбор элемента можно осуществить либо с помощью списка элементов, либо простым щелчком на нем в режиме выбора элементов.

В окне «Результаты» показываются: общая масса конструкции, величины максимальных напряжений и перемещений и номера элементов, в которых наблюдаются максимальные напряжения и перемещения.

У выбранного элемента в таблице: Внутренние нагрузки в узлах элементов показываются: локальная система координат, координаты узлов, смещения узлов, угловые перемещения, силы и моменты в узлах.

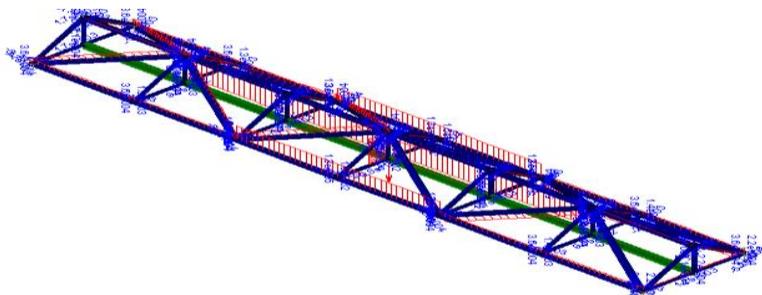


Рисунок 14. Нагрузки на элементы балки

Для любого выбранного стержня можно просмотреть эпюры силовых факторов: нажимаем кнопку «Показать графики...» и в открывшемся диалоговом окне «Графики» отмечаем для просмотра один из перечисленных графиков.

В качестве примера нажмем кнопку «Вертикальный» в группе параметров Моменты изгиба.

Слева на графике находится узел 1 (начало) для выбранного стержня, а справа – узел 2 (конец). Наведя указатель мыши на какую-либо точку графика, пользователь получает значения координат X и Y в тех единицах, которые указаны на координатных осях.

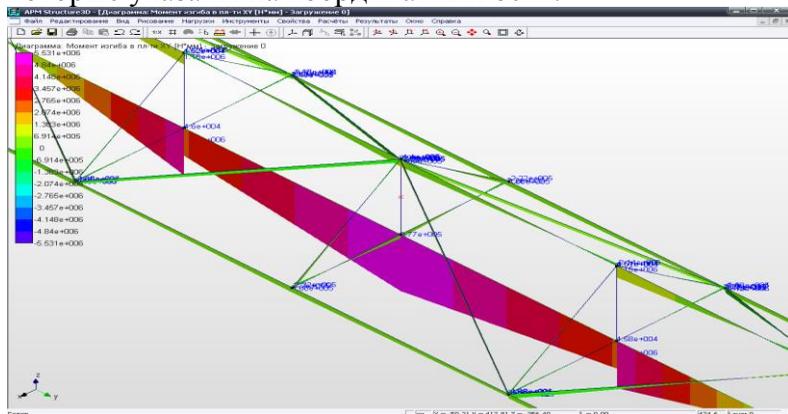


Рисунок 15. Изгибающие моменты металлоконструкции крана

## Просмотр напряжений в поперечном сечении стержня.

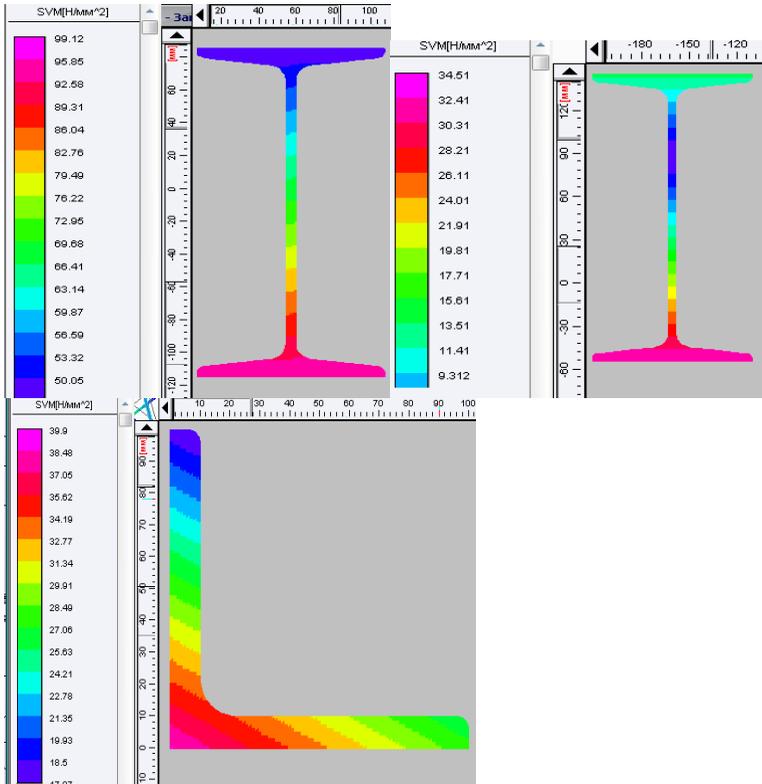


Рисунок 16. Напряжения в поперечных сечениях балки.

Пользователь имеет возможность просмотреть распределение напряжений в поперечном сечении любого из стержневых элементов. Для этого нужно войти в меню Результаты/Напряжения в сечении... и указать нужный стержень, щелкнув по нему левой кнопкой мыши. На этом стержне появится небольшая стрелка, которая при движении мыши перемещается по выбранному стержню. С помощью этой стрелки следует уточнить конкретное положение сечения на стержне. Шкала напряжений по-

казывает диапазон напряжений, которые имеют место в конкретном поперечном сечении.

Просмотр результатов расчета устойчивости.

Для просмотра результатов расчета по устойчивости конструкции выбираем пункт меню Результаты/Устойчивость... В открывшемся диалоговом окне «Устойчивость» показывается величина коэффициента запаса устойчивости. Чтобы выяснить, какие именно элементы теряют устойчивость, нажмите кнопку «Форма» – в появившемся диалогом окне будет показана форма потери устойчивости, на которой будут видны элементы, теряющие устойчивость в первую очередь.

На форме потери устойчивости видно, что будут в первую очередь терять устойчивость диагональные пересекающиеся стержни на боковых поверхностях моста.

Вывод результатов на печать и в формат \*.rtf.

Для вывода результатов расчета на печать нажмите в

основном окне программы кнопку «Печать»  (меню Файл/Печать...) и в открывшемся окне «Выбор данных для печати» отметьте флажками те данные и результаты, которые требуется вывести на печать. Вывод результатов расчета может быть осуществлен либо сразу на принтер (кнопка «Печать»), либо в текстовый файл формата \*.rtf (кнопка «RTF»), который может быть открыт в большинстве текстовых редакторов, так что пользователь имеет возможность его редактировать. Такая возможность особенно удобна в том случае, когда по результатам расчета нужно подготовить отчет по заданной форме. При составлении отчета необходимо произвести учет расхода материала. Это можно сделать в этом модуле, представленном в таблице.

Таблица 1 - Используемый профиль и расход материала на изготовление кран-балки

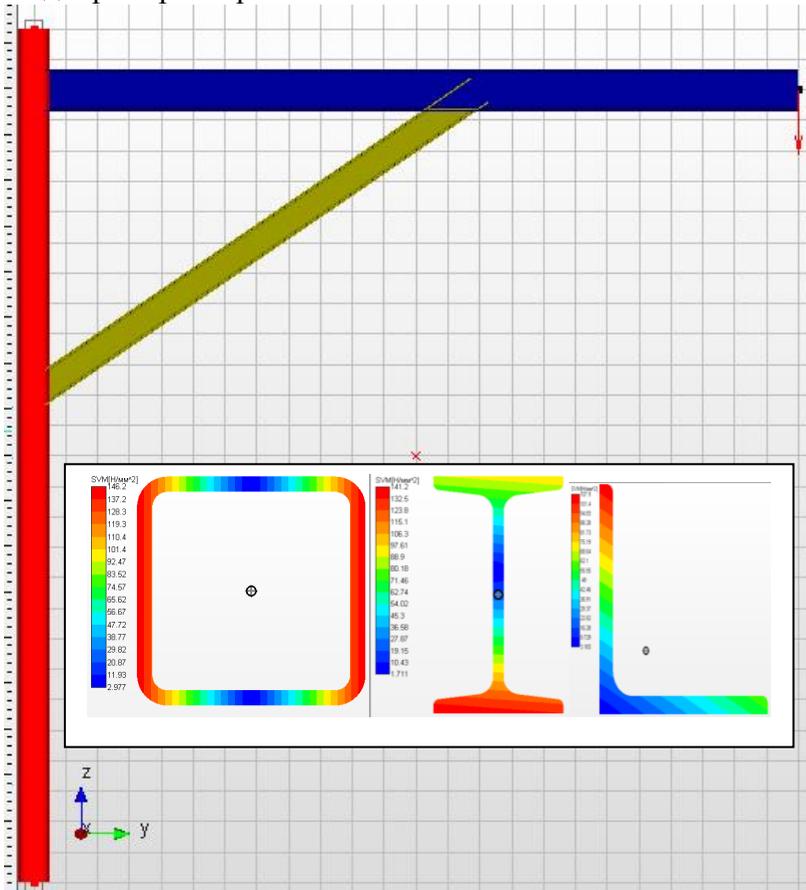
Таблица расхода					
Название	Количество	Длина [см]	Погонная масс...	Масса изделия...	Общая масса[kg]
Сталь					
L100x10 ГОСТ 8509-93	21	100.000	0.15	15.02	315.40
L100x10 ГОСТ 8509-93	14	141.421	0.15	21.24	297.36
L100x10 ГОСТ 8509-93	18	200.000	0.15	30.04	540.68
Двутавр с уклоном №20 ...	6	200.000	0.21	41.82	250.89
L100x10 ГОСТ 8509-93	12	244.949	0.15	36.79	441.47
Всего для сечения					
L100x10 ГОСТ 8509-93	65	10619.287	0.15	1594.91	1594.91
Двутавр с уклоном №20 ...	6	1200.000	0.21	250.89	250.89
Всего для материала					1845.80

### 3. Задачи для самостоятельной работы

#### 1. Исходные данные:

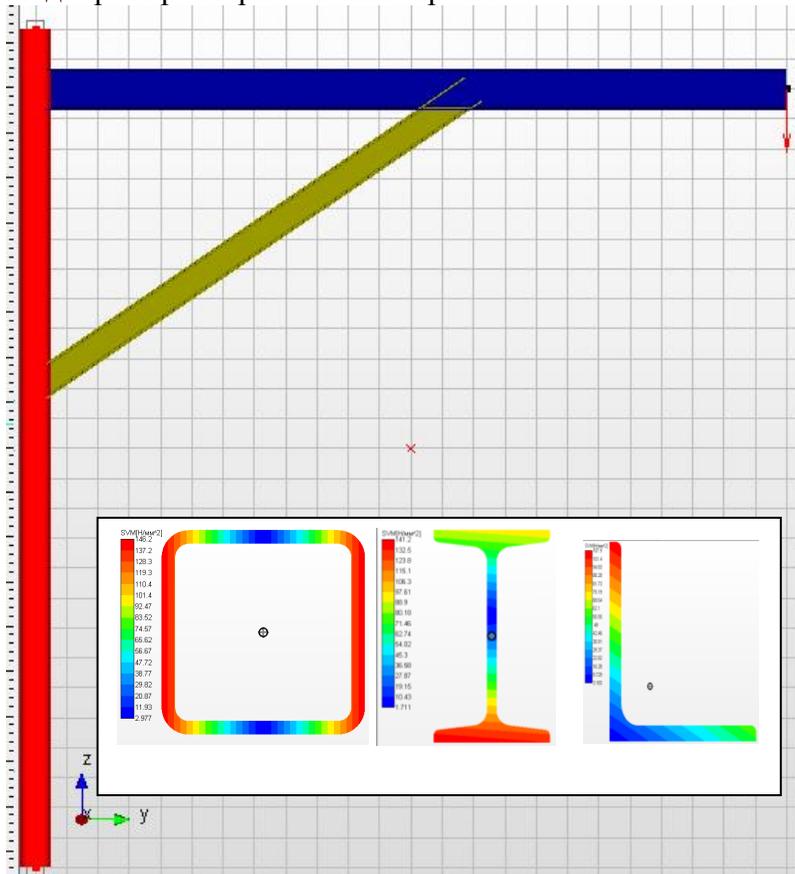
Высота подъема крана 4 м, длина стрелы-3 м, грузоподъемность 0,5 т. Материал изготовления колонны – труба квадратная ГОСТ 30245-2003, стрелы – двутавр №10, ГОСТ 8239-89, раскоса – равнополочный уголок 63 х 5 мм, ГОСТ 8309-93. Шаг сетки – 200 мм. Максимальное напряжение колонны 164МПа.

Подобрать размеры сечения колонны



## 2. Исходные данные:

Высота подъема крана 4 м, длина стрелы-3 м, грузоподъемность 1,5 т. Материал изготовления колонны – труба квадратная сечение... ГОСТ 30245-2003, раскоса – равнополочный уголок 63 x 5 мм, ГОСТ 8309-93, стрелы – двутавр № \_\_, ГОСТ 8239-89. Шаг сетки – 200 мм. Максимальное напряжение стрелы 160 МПа. Подобрать размеры сечения стрелы.

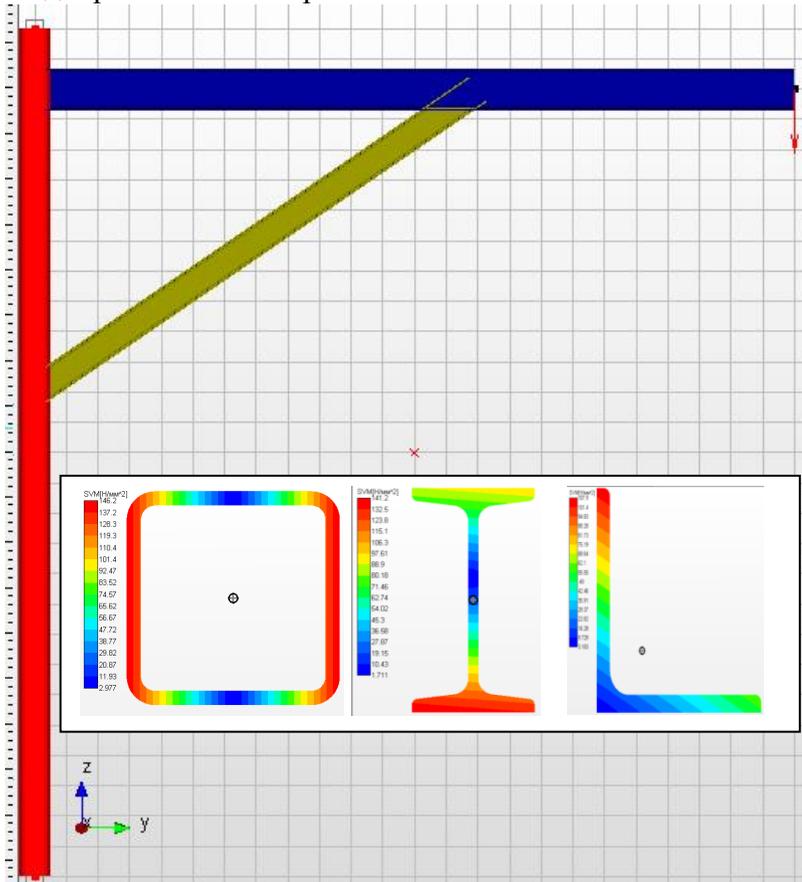


### 3. Исходные данные:

Высота подъема крана 4 м, длина стрелы – 3 м, грузоподъемность 5 т. Материал изготовления колонны – труба квадратная ГОСТ 30245-2003, размеры сечения 200x10 мм, растяжка – равнополочный уго-лок 150 x 15 мм ГОСТ 8309-93, стрелы – двутавр №\_\_ , ГОСТ 8239-89. Шаг сетки – 200 мм.

Максимальное напряжение двутавра 192 МПа.

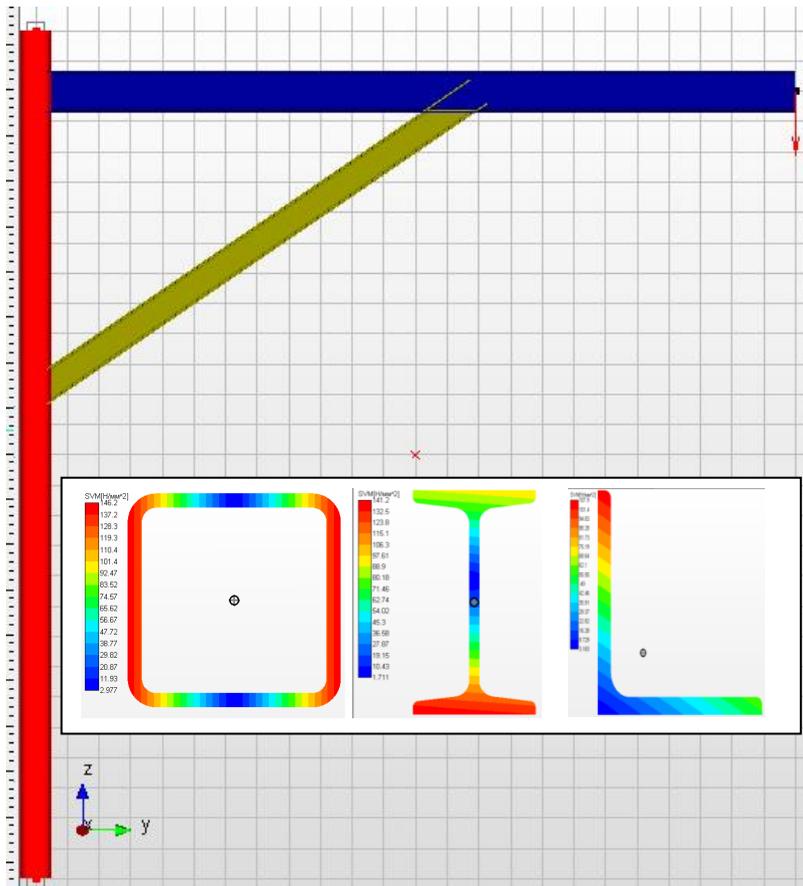
Подобрать сечение стрелы.



#### 4. Исходные данные:

Высота подъема крана 5 м, длина стрелы-3 м, грузоподъемность 5 т.

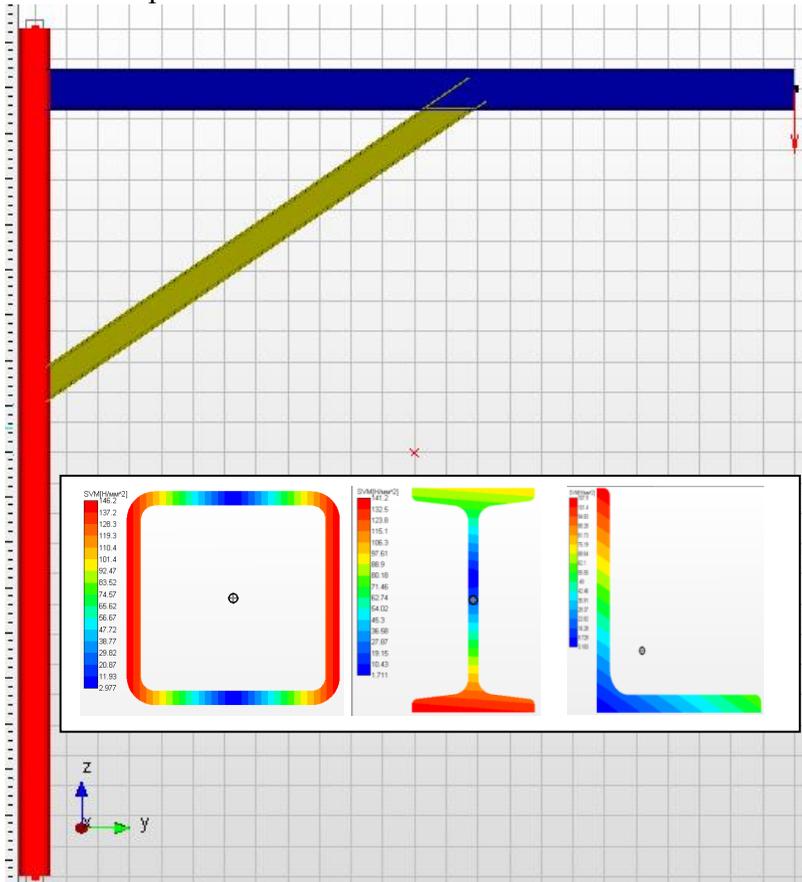
Материал изготовления колонны – труба квадратная ГОСТ 30245-2003, размеры сечения 200 x 10 мм, стрелы – двутавр №24, ГОСТ 8239-89, растяжка – равнополочный уголок 150 x 15 мм ГОСТ 8309-93. Шаг сетки – 200 мм. Максимальное напряжение трубы 140 МПа, двутавра 192 МПа. Подобрать сечение.



### 5. Исходные данные:

Высота подъема крана 5 м, длина стрелы-3 м, грузоподъемность 3,2 т.

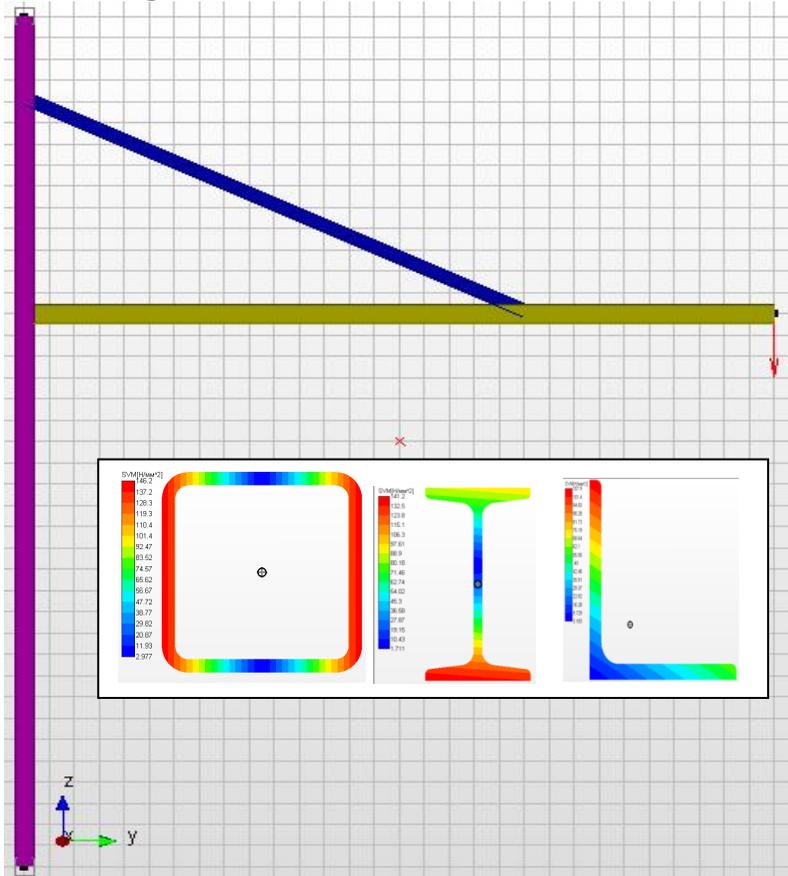
Материал изготовления колонны – труба квадратная ГОСТ 30245-2003, размеры сечения 160 x 8 мм, стрелы – двутавр № \_\_, ГОСТ 8239-89, растяжка – равнополочный уголок 100 x 10 мм ГОСТ 8309-93. Шаг сетки – 200 мм. Максимальное напряжение трубы 176 МПа. Подобрать сечение стрелы.



6. Исходные данные:

Высота подъема крана 4 м, длина стрелы-3 м, грузоподъемность 2,5 т.

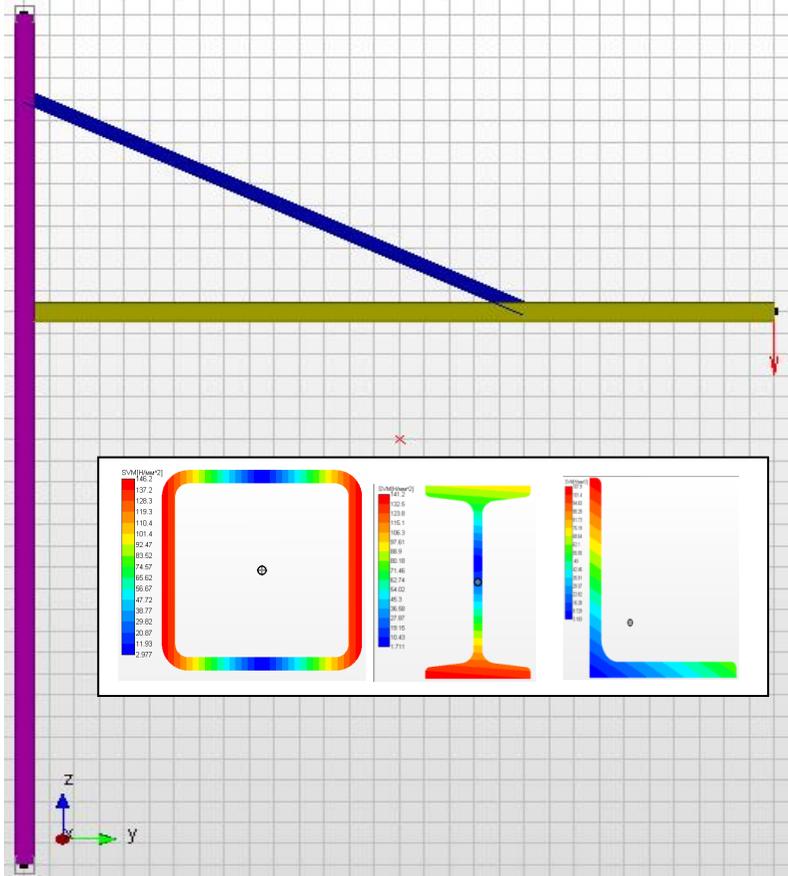
Материал изготовления колонны – труба квадратная ГОСТ 30245-2003, размеры сечения 160 x 8 мм, стрелы – двутавр №\_\_, ГОСТ 8239-89, растяжка – равнополочный уголок 100 x 10 мм, ГОСТ 8309-93. Шаг сетки – 200 мм. Максимальное напряжение трубы 160 МПа. Подобрать сечение стрелы.



### 7. Исходные данные:

Высота подъема крана 5 м, длина стрелы-3 м, грузоподъемность 5 т.

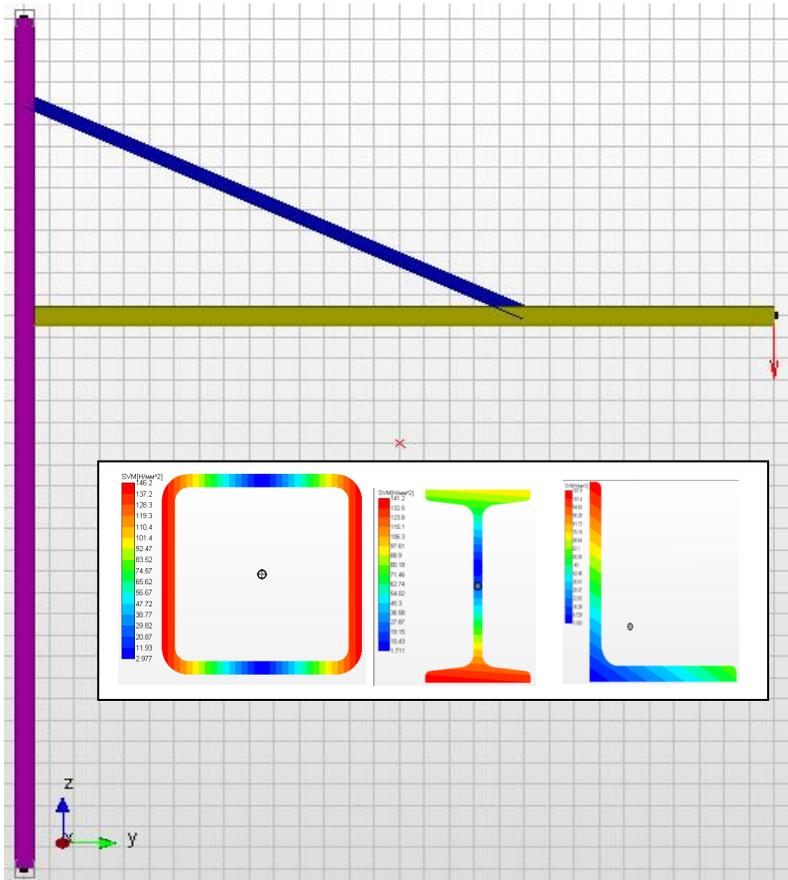
Материал изготовления колонны – труба квадратная ГОСТ 30245-2003, размеры сечения 200 x 10 мм, стрелы – двутавр №24, ГОСТ 8239-89, растяжка – равнополочный уголок 150 x 15 мм ГОСТ 8309-93. Шаг сетки – 200 мм. Максимальное напряжение трубы 140 МПа, двутавра 192 МПа. Подобрать сечение.



### 8. Исходные данные:

Высота подъема крана 2,8 м, длина стрелы 2,4 м, грузоподъемность 1,5 т. Материал изготовления колонны – труба электросварная прямошовная, ГОСТ 10704-91, размеры сечения 140 x 5 мм, стрелы – двутавр №\_\_, ГОСТ 8239-89, раскоса - швеллер №10 ГОСТ 8240-89.

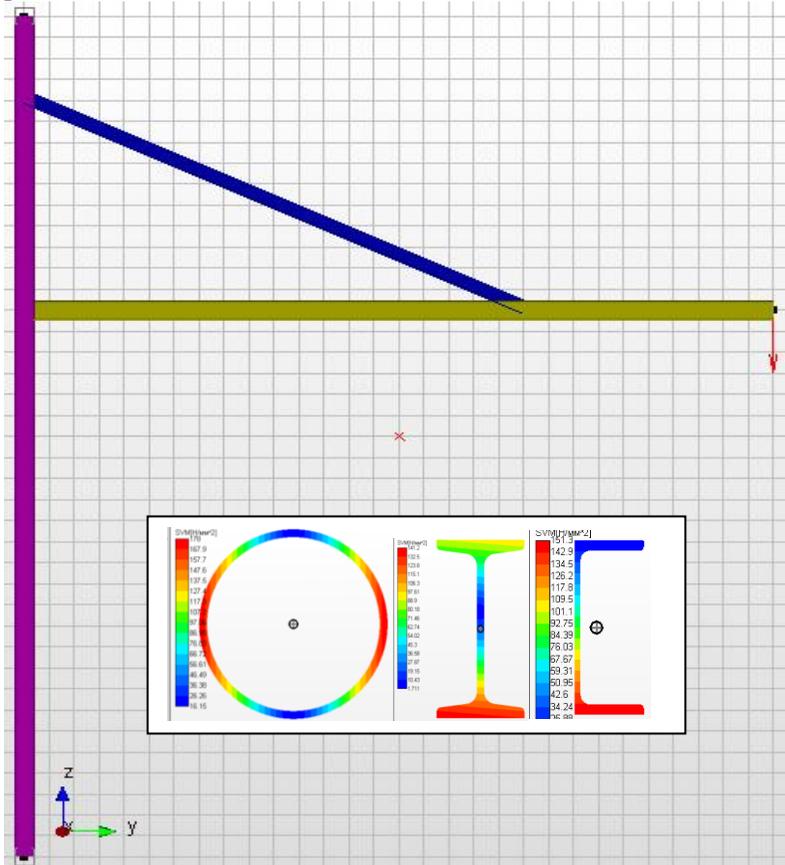
Шаг сетки – 200 мм. Максимальное напряжение стрелы 184МПа. Подобрать сечение стрелы.



### 9. Исходные данные:

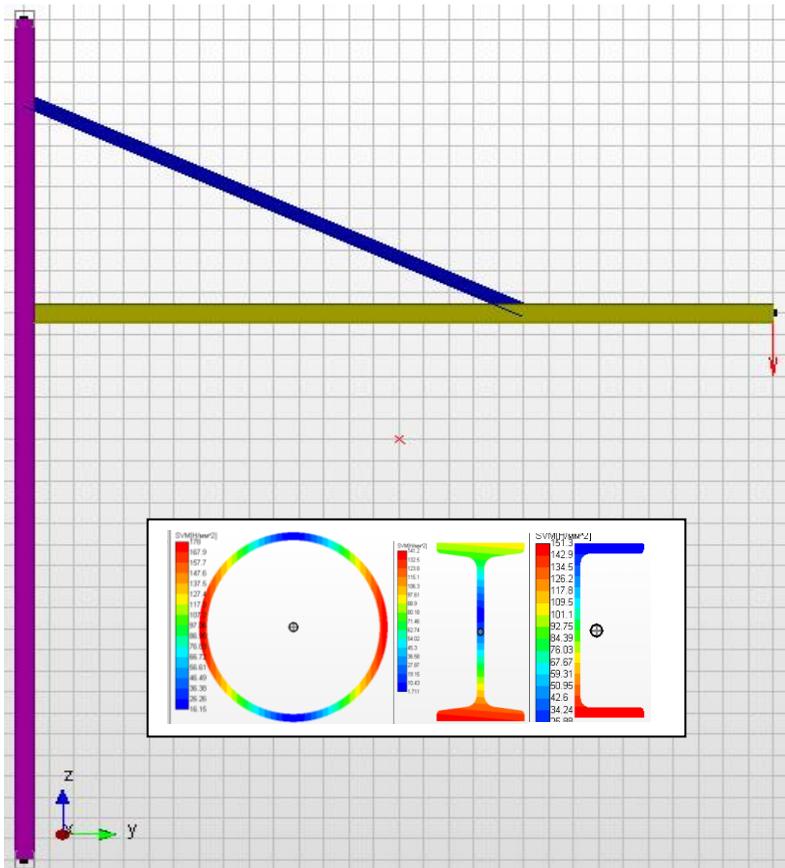
Высота подъема крана 3,5 м, длина стрелы-2,5 м, грузоподъемность 1,5 т. Материал изготовления колонны – труба электросварная прямошовная, ГОСТ 10704-91, размеры сечения  $\varnothing$ \_\_\_, стрелы – двутавр №14, ГОСТ 8239-89, раскоса - швеллер №... ГОСТ 8240-89.

Шаг сетки – 200 мм. Максимальное напряжение колонны 160 МПа. Подобрать сечение колонны., раскоса.



10. Исходные данные:

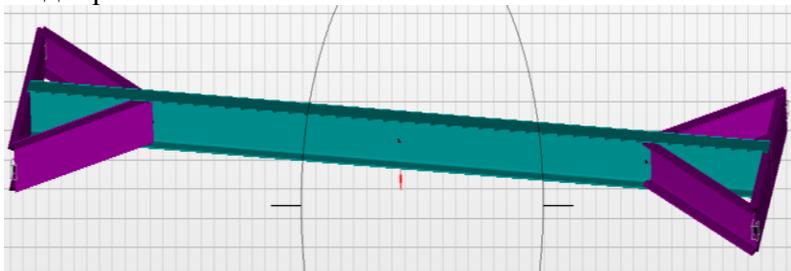
Высота подъема крана 6 м, длина стрелы-4 м, грузоподъемность 3 т. Материал изготовления колонны – труба электросварная прямошовная, ГОСТ 10704-91, размеры сечения 193 x 5мм, стрелы – двутавр №\_\_, ГОСТ 8239-89, раскоса - швеллер №12 ГОСТ 8240-89. Шаг сетки – 200 мм. Максимальное напряжение стрелы 160 МПа. Подобрать сечение стрелы.



11. Исходные данные:

Грузоподъемность 2 т, длина кран-балки-6 м, расстояние между колесами 1 м, материал изготовления раскосов – швеллер №12 ГОСТ 8240-89, центральной балки двутавр №\_\_, ГОСТ 8239-89. Шаг сетки – 500 мм. Максимальное напряжение 170 МПа.

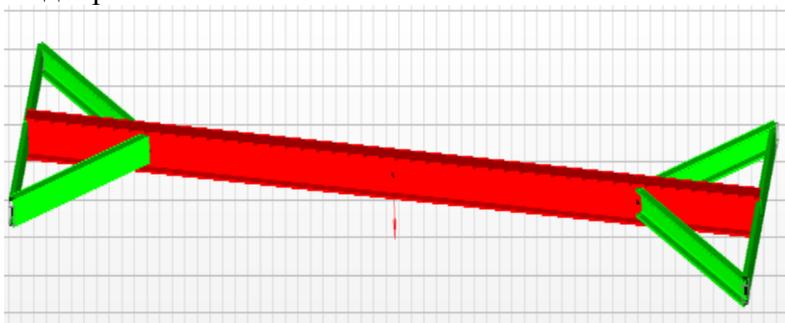
Подобрать сечение балки.



13. Исходные данные:

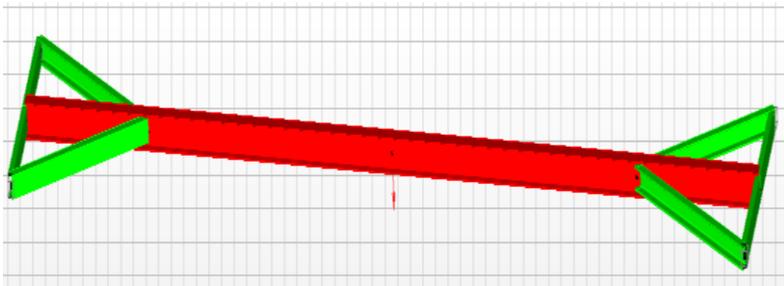
Грузоподъемность 3,2 т, длина кран-балки-8 м, расстояние между колесами 1 м, материал изготовления раскосов – швеллер №12 ГОСТ 8240-89, центральной балки двутавр №\_\_, ГОСТ 8239-89. Шаг сетки – 500 мм. Максимальное напряжение 160 МПа.

Подобрать сечение балки.



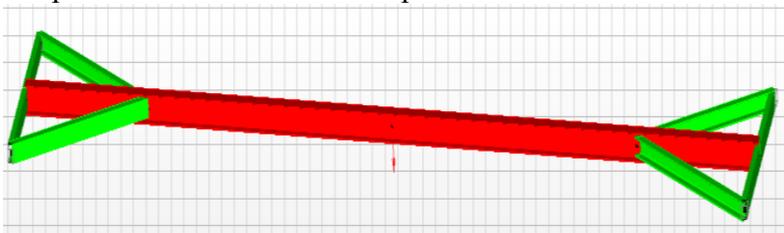
12. Исходные данные:

Грузоподъемность 2 т, длина кран-балки-10 м, расстояние между колесами 2 м, материал изготовления раскосов – швеллер №12 ГОСТ 8240-89, центральной балки двутавр №\_\_, ГОСТ 8239-89. Шаг сетки – 500 мм. Максимальное напряжение 175 МПа. Подобрать сечение балки.



14. Исходные данные:

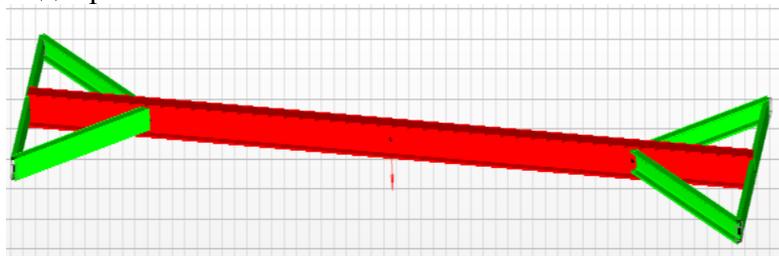
Грузоподъемность 5 т, длина кран-балки-8 м, расстояние между колесами 1 м, материал изготовления раскосов – швеллер №12 ГОСТ 8240-89, центральной балки двутавр №\_\_, ГОСТ 8239-89. Шаг сетки – 500 мм. Максимальное напряжение 170 МПа. Подобрать сечение балки.



15. Исходные данные:

Грузоподъемность 4 т, длина кран-балки-12 м, расстояние между колесами 2 м, материал изготовления раскосов – швеллер №12 ГОСТ 8240-89, центральной балки двутавр №\_\_, ГОСТ 8239-89. Шаг сетки – 500 мм. Максимальное напряжение 175 МПа.

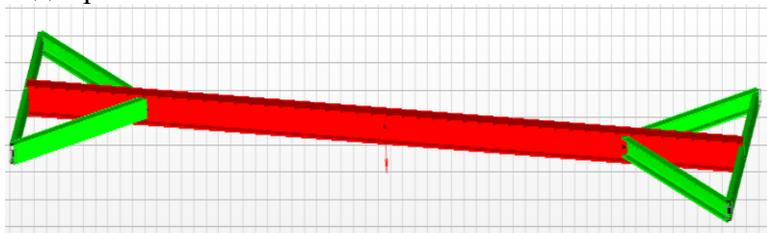
Подобрать сечение балки.



16. Исходные данные:

Грузоподъемность 6 т, длина кран-балки-10 м, расстояние между колесами 1 м, материал изготовления раскосов – швеллер №12 ГОСТ 8240-89, центральной балки двутавр №\_\_, ГОСТ 8239-89. Шаг сетки – 500 мм. Максимальное напряжение 180 МПа.

Подобрать сечение балки.



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проектирование механического оборудования и конструкций – процесс, который требует от разработчика фундаментальных знаний и опыта практической работы. В основе методов расчета лежат законы механики, математики и прикладных инженерных дисциплин. Использование этих знаний и опыта в сочетании с применением современных компьютерных программ позволяет проектировщикам создавать механическое оборудование на уровне лучших мировых аналогов [7, 8, 9].

При проектировании грузоподъемных машин (ГПМ) необходимо выполнить анализ условий, в которых находится проектируемый узел, и найти наиболее рациональное конструктивное решение с учетом эксплуатационных, рабочих и монтажных требований, предъявляемых к конструкции, решить вопросы выбора материалов, определить нагрузки, действующие на детали, произвести расчеты на прочность. Существующие экспериментальные и теоретические методы расчета ГПМ требуют больших затрат средств и времени. При теоретическом расчете в формулах приходится учитывать допущения в виде коэффициентов запаса прочности, поэтому при разработке конструкции детали эту задачу решают методом повторных приближений, затем делают проверочные расчеты [10].

Использование программы APM Structure3D для расчёта и проектирования металлоконструкции и деталей ГПМ позволяет обеспечить решение поставленных задач проектирования с наименьшими затратами материалов и средств, с высокой производительностью и надежностью.

С помощью моделирования можно рассчитать трехмерную конструкцию, состоящую из стержней произвольного поперечного сечения, пластин, оболочек и объ-

ёмных деталей при нагружении. В отдельных случаях, исходя из условий работы механизма, а также кинематических, динамических и других параметров, можно с достаточной степенью точности прогнозировать основные геометрические размеры. Анализ выполняется по ряду критериев. Оптимизацией называется процедура минимизации этих критериев. Наиболее часто в использовании параметров оптимизации принимаются вес, габаритные размеры, стоимость и т.д.

Внедрение САПР позволяет сократить в 1,5-2 раза цикл создания изделия (от проектирования до выпуска), снизить материалоемкость изделия на 20-25%, уменьшить затраты на производство на 15-20%, повысить качество изделия и конкурентоспособность предприятия.

При построении модели металлоконструкции кранбалки важным является то, что при определении зон высоких и низких напряжений, можно использовать другие профили, подбирая их таким образом, чтобы вся металлоконструкция была нагружена равномерно. Для этого можно использовать раскосы, пластины и другой сортамент, что при исследовании модели делается достаточно быстро и просто.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шелофаст В.В. Основы проектирования машин. М.: Изд-во АПМ, 2005. 472 с.
2. Подъемно-транспортные машины / под ред. М.Н. Ерохина, С.П. Казанцева. М.: КолосС, 2010. 335 с.
3. Замрий А.А. Проектирование и расчет методом конечных элементов трехмерных конструкций в среде ARM Structure3D. М.: Изд-во АПМ, 2009. 288 с.
4. Безик Д.А., Романеев Н.А. Автоматизированное проектирование машин на примере расчета редуктора: учебное пособие. Брянск: Изд-во БГСХА, 2002. 31 с.
5. Безик Д.А., Романеев Н.А. Расчеты напряженного состояния элементов грузоподъемных машин с использованием современного программного обеспечения // Подъемно-транспортное дело. 2008. № 1. С. 2-5.
6. Романеев Н.А. Расчет металлоконструкций в ARM Winstructure 3D. Брянск: Изд-во БГСХА, 2011.
7. Варывдин В.В., Романеев Н.А., Никитин В.В. Расчет деталей и механизмов подъемно-транспортных машин с элементами САПР. Брянск, 2013. 131 с.
8. Варывдин В.В., Романеев Н.А., Кожухова Н.Ю. Проектирование механических передач. Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2010. 103 с.
9. Лабораторный практикум по деталям машин: учебное пособие / В.В. Варывдин, Н.Ю. Кожухова, Н.А. Романеев, В.В. Никитин. Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2014.
10. Курсовое проектирование деталей машин. Гриф НТС по направлению «Агроинженерия» / В.В. Варывдин, В.В. Никитин, Н.Ю. Кожухова, Н.А. Романеев. Брянск: Изд-во Брянская ГСХА, 2016.

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	3
Задача № 1.....	4
Задача №2.....	17
3. Задачи для самостоятельной работы.....	39
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	52
ЛИТЕРАТУРА.....	54

Учебное пособие

Романеев Николай Александрович  
Никитин Виктор Васильевич

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ  
МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ГРУЗОПОДЪЕМНЫХ  
МАШИН**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Редактор Осипова Е.Н.  
Компьютерный набор и верстка Никитина В.В.

---

Подписано к печати 21.03.2018 г. Формат 60х84. 1/16.  
Бумага офсетная. Усл. п. 3,25. Тираж 25 экз. Изд. № 5587.

---

Издательство Брянского государственного аграрного университета  
243365, Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино,  
Брянский ГАУ