

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский-технический университет
имени К.И.Сатпаева

Институт промышленной инженерии имени А.Буркитбаева
Кафедра «Станкостроение, материаловедение и технологии машиностроительного производства»

Бесенов Кайрат Жарасұлы

Расчёт грузоподъемного крана с помощью АРМ WinMachine

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Специальность 5В071200 – Машиностроение

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И.Сатпаева

Институт промышленной инженерии им. А. Буркитбаева

Кафедра «Станкостроение, материаловедение и технология
машиностроительного производства»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
СМиТМП, PhD
Б.С. Арымбеков
«29» апрель 2019г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Расчёт грузоподъемного крана с помощью АРМ
WinMachine»

по специальности: 5В071200 - Машиностроение

Выполнил

Бесенов К.Ж.

Рецензент

Магистр технических наук

Преподаватель КазАДИ им. А.Б.Гончарова

Шакенова Ж.Н.

Научный руководитель
канд. техн. наук, сеньор
лектор Сушкова О.А.

«25» сентябрь 2019г.

«25» апрель 2019г.

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский-технический университет
имени К.И.Сатпаева

Институт промышленной инженерии имени А.Буркитбаева

Кафедра «Станкостроение, материаловедение и технология
машиностроительного производства»

5B071200 – Машиностроение

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
СМиТМП, PhD, ассоц. проф.

Арымбеков Б.С.

«6» ноября 2018 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся: Бесенову Кайрату Жарасұлы

Тема: Расчёт грузоподъемного крана с помощью АРМ WinMachine.

Утверждена приказом Ректора Университета № 1252-б от «6» ноября 2018г.

Срок сдачи законченной работы «30» апреля 2019г.

Исходные данные к дипломной работе: .

Краткое содержание дипломной работы:

- а) литературно - патентный анализ .
- б) автоматизированный расчёт мостового крана
- в) технологическая часть грузоподъемного мостового крана

Представлены 15 слайдов презентации работы

Рекомендуемая основная литература: из 15 наименований


- а) Замрий А. Практический учебный курс. CAD/CAE система АРМ WinMachine М: Научный мир 2008-240 с.
- б) Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. - М.: Машгиз, 1975 - 268 с.
- в) Богуславский П.Е. Металлические конструкции грузоподъемных машин и сооружений. - М.: Машгиз, 1961. - 519 с.
- г) Майзель В.С. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин. Учеб. пособ. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1966. 182 с.

ГРАФИК
подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
Обзор литературы Теоретическая часть	12.02.19 – 15.03.19	Выполнено
Расчётная часть Графическая часть	16.03.19 – 20.04.19	Выполнено
Технологическая часть	22.04.19 – 25.04.19	Выполнено

Подпись

консультанта и нормоконтролера на законченную дипломную работу
с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименование разделов	Консультанты, Ф.И.О. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Нормоконтролер	Карпеков Р.К., лектор	26.04.2019	

Научный руководитель _____



Сушкова О.А.

Задание принял к исполнению обучающийся _____



Бесенов К.Ж.

Дата

"6" ноября 2018 г.

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа на тему «Расчёт грузоподъемного крана с помощью APM WinMachine» представлена в виде расчётной части и пояснительной записки. Расчётная часть состоит из семи листов: автоматизированный расчёт стержневой модели металлоконструкции мостового крана, расчёт модели металлоконструкции мостового крана, содержащий объёмные конечные элементы, сравнение результатов, общие выводы и рекомендации.

В теоретической части были приведены основы метода расчета стержневых конструкций - метода конечных элементов. Представлены основные уравнения этого метода, уравнения потенциальной энергии деформации упругого тела в приближении метода конечных элементов.

В расчётно-пояснительной записке отражена конструкция мостового крана, которая выдерживает приложенные к нему статические нагрузки. Выбранные сечения полностью удовлетворяют условиям прочности, предъявляемые к металлоконструкции, разница напряжений между предварительным и точным расчётами, разница в перемещениях, по коэффициенту запаса. Выражены в процентах отклонения расчётов APM Structure 3D и APM Studio: напряжение, перемещение и коэффициент запаса по текучести.

Данные сечения выбранные оптимально относительно технико-экономического показателя, то есть нет перерасхода материала и утяжеления конструкции.

В технологической части приведены последовательность монтажных работ и методы испытания грузового крана. На стадиях подготовительных работ необходима подготовка металлического профиля.

ANNOTATION

Thesis on "the Calculation of the crane with APM WinMachine" is presented in the form of the calculation part and an explanatory note. The design part consists of seven sheets: an automated calculation of the rod model of the metal structure of the bridge crane, the calculation of the model of the metal structure of the bridge crane, containing volumetric finite elements, a comparison of the results, General conclusions and recommendations.

In the theoretical part were given the basics of the method of calculation of rod structures - the finite element method. The basic equations of this method, equations of potential energy of deformation of an elastic body in the approximation of the finite element method are presented.

In the settlement and explanatory note the design of the bridge crane which maintains the static loadings attached to it is reflected. The selected sections fully satisfy the conditions of strength imposed on the metal structure, the stress difference between the preliminary and accurate calculations, the difference in displacement, the safety factor. Expressed as a percentage of the deviation of APM Structure 3D and APM Studio calculations: stress, displacement, and yield factor.

These sections are selected optimally relative to the technical and economic performance, that is, there is no overspending of the material and weighting of the structure.

In the technological part the sequence of installation works and methods of testing of the cargo crane are given. At the stages of preparatory work is necessary to prepare the metal profile.

АНДАТПА

"АРМ WinMachine көмегімен жүккөтергіш кранды есептеу" тақырыбындағы дипломдық жұмыс есептік бөлік және түсіндірме жазба түрінде ұсынылған. Есептеу бөлімі жеті парақтан тұрады: көпірлі Кранның металл конструкциясының өзекті моделін Автоматтандырылған есептеу, көпірлі Кранның металл конструкциясының моделін есептеу, көлемді соңғы элементтерді қамтитын, нәтижелерді салыстыру, жалпы қорытындылар мен ұсыныстар.

Теориялық бөлімде өзекті құрылымдарды есептеу әдісінің негіздері - соңғы элементтер әдісі келтірілген. Осы әдістің негізгі теңдеулері, соңғы элементтер әдісінің жақындауында серпімді дененің деформациясының әлеуетті энергия теңдеулері берілген.

Есептеу-түсіндірме жазбада оған қоса берілген статикалық жүктемелерге төзімді көпірлі Кранның конструкциясы көрсетілген. Таңдалған қималар металл конструкциясына қойылатын беріктілік шарттарын, алдын ала және дәл есептеулер арасындағы кернеудің айырмашылығын, орын ауыстырудағы айырмашылықты, қор коэффициенті бойынша толық қанағаттандырады. АРМ Structure 3D және АРМ Studio есептеулерінің ауытқу пайызында көрсетілген: кернеу, жылжыту және ағымдылық бойынша қор коэффициенті.

Бұл қималар техникалық-экономикалық көрсеткішке қатысты оңтайлы таңдалған, яғни материалдың артық шығыны және конструкцияның ауырлығы жоқ.

Технологиялық бөлімде монтаждау жұмыстарының жүйелілігі және жүк кранын сынау әдістері келтірілген. Дайындық жұмыстарының сатыларында металл профилін дайындау қажет.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1 Назначение и область применения мостовых кранов	10
1.1 Описание конструкции мостового крана	10
1.2 Технические характеристики мостового крана	12
2 Метод расчета мостового крана в САЕ системах	13
2.1 Потенциальная энергия деформации упругого тела в приближении метода конечных элементов	15
2.2 Уравнения метода конечных элементов	18
3 Автоматизированный расчёт стержневой модели металлоконструкции мостового крана	20
3.1 Расчёт модели металлоконструкции мостового крана, содержащей объёмные конечные элементы	23
3.2 Сравнение результатов, общие выводы и рекомендации	25
4 Технологическая часть	27
4.1 Технология подготовительных работ	27
4.2 Технология сварочных работ	28
4.3 Испытания мостового крана	32
Заключение	34
Список использованной литературы	35
Приложение А	
Приложение В	
Приложение С	

ВВЕДЕНИЕ

Грузоподъемный кран - это машина циклического действия, которая уготовлена чтобы удерживать, захватить, переместить, отпустить и поднимать груз в пространстве, груз при этом подвесочном состоянии с помощью крюка или же удерживается иным грузозахватным объектом. По устройству можно подчеркнуть вытекающие типы грузоподъемных кранов:

- краны мостового типа;
- краны стрелового типа;
- краны кабельного типа.

Особенно нужными из них показываются консольные, козловые и мостовые грузоподъемные краны. Кран мостовой - это металлическая конструкция, которое заключается из главных двух устройств: моста и тележки. Мост нужен для передвижения груза, вместе с тележкой по цеху по подкрановым путям, которые вмещены на выступах верхней части колонн или стен. Для того, чтобы безотказно передвигаться, он оборудован ходовыми колесами, которые приводит в действие особый механизм, который обладает питанием по гибким кабелям, висящим в виде петель на канате [1].

В цехах предприятий машиностроения предельное распространение приобрели мостовые краны, при помощи которых происходит подъем и спуск тяжелых деталей, заготовок и узлов машин, а также их передвижение вдоль и поперек цеха. Виды мостового крана в основном определяются спецификой цехов и их технологиями, всё-таки многие узлы крановых оборудований, к примеру механизм подъема и перемещения, осуществляются однотипными для разнообразных разновидностей кранов [2].

Работоспособность, надёжность и безопасность использования кранов в большем зависит от качества материализации их металлических устройств. Несущим элементом металлического устройства мостового крана показывается пролётная балка. При потребных прочностных характеристиках пролётные балки обязаны быть технологичными, обладать низкой стоимостью и массой. Масса изделия машиностроения в высокой степени назначает его стоимость (выше 70 %) и сокращение расхода металла на 1 % приводит к снижению себестоимости изделия до 5 %. Особенное значение металлоемкость имеет для мостовых кранов, в которых часть металлических конструкций достигает 80 % их металлоемкости. В комплекс работ по понижению металлоемкости изделия входит введение научно доказанных способов его расчетов, вводя вариантное проектирование и оптимизацию.

Определение наилучших размеров сечения и понижение металлоемкости мостовых кранов показывается важной задачей проектирования, цель предоставленной дипломной работы провести автоматизированный расчет с целью определения напряженно-деформированного состояния конструкции мостового крана. [1]

1 Назначение и область применения мостовых кранов

Мостовым краном именуется грузоподъемная машина, перемещающаяся по рельсам на кое-каком расстоянии от земли (пола) и снабжающая перемещение груза в трех взаимно перпендикулярных направлениях, рисунок 1. Мостовые краны представляются одним из особо известных средств механизации разнообразных производств, погрузочно-разгрузочных и складских работ. Передвигаясь по путям, размещённых над землей, они не захватывают полезного участка цеха или склада, снабжая в то же время обслуживанием почти каждой их точки [1].



Рисунок 1 - Однобалочный мостовой кран [1]

Мостовые краны используют в цехах ремонтных предприятий и производственных цехах предприятий. Устройства специальных мостовых кранов очень многообразны. Данные краны могут быть поступательно перемещающимися по крановым рельсам или вращающимися вокруг вертикальной оси. К вращающимся кранам причисляются хордовые, радиальные и поворотные. По грузоподъемности мостовые краны условно разделяют на малые (масса груза 5-10 т.), средние (10-25 т.) и крупные (свыше 50 т.) [1].

Мостовой подъемный кран включает в себя мост, перекрывающий весь пролет цеха, и грузовой тележки с устройством подъема и перемещения. Мост перемещается по крановым рельсам, введённым на подкрановых балках цехового здания, а грузовая тележка – по рельсам моста крана.

1.1 Описание конструкции мостового крана

Главные узлы и механизмы мостового крана.

Как обычно, мостовой кран включает в себя подкрановые пути с рельсами, балки или моста и грузовой тележки, которая передвигается, рисунок 2. Тележка оснащается устройством подъема груза. Он может быть один или несколько в соотношении от запросов производства.

Конструкция повергается в движение под воздействием электрического привода. При помощи этого мостовой кран может поднимать и опускать груз, передвигать тележку и балку.

Регулирование подобным краном совершается за счет механизаций с пульта, который находится в подвешенной кабине или же внизу цеха. Сборка крана реализовывается на крановой эстакаде или с применением колонн и конструкций помещения [2].



Рисунок 2 - Устройство мостового крана [2]

Подкрановые пути применяются для передвижения оборудования, рисунок 3. Также они вызваны разделять вес мостового крана равномерно по фундаменту. Опорные однобалочные краны имеют малой и средней грузоподъемностью, для их передвижения используются железнодорожные рельсы.

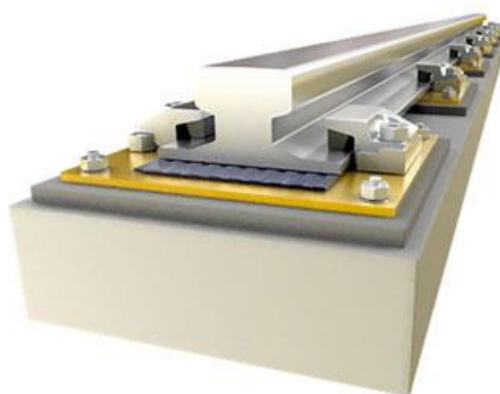


Рисунок 3 - Подкрановые пути [2]

Устройства, способные передвигать существенный вес (20 и более тонн), устанавливают на особенные крановые пути. Потому что такие краны работают под высокой нагрузкой, к подкрановым путям устанавливаются строгие требования во избежание схода тележки и прочих поломок.

Для того чтобы не выдался сход тележки, ширина колеса обязана быть больше, чем рельса. Нельзя забывать при проектировании, что рельсы необходимо укладывать с незначительным сертифицированным зазором, так как в

противном случае термическое расширение может повергнуть к аварии. Однако если зазоры чересчур большие, то на колеса будут воздействовать ударные нагрузки, что повергнет к скорому их выходу из строя [2].

1.2 Технические характеристики мостового крана

Технические характеристики мостового крана определяют его значительные эксплуатационные потенциалы и сборочную готовность, таблица 1. Мостовые краны производятся с полным электромонтажом шкафов и кабин управления, холостой обкаткой всех приспособлений, а также контрольной сборкой всех узлов крана.

Разберём основные технические характеристики мостового крана, обуславливающие его значительную производительность и многофункциональность. Мостовые краны как правило имеют электрический привод, реже ручной, управление при этом совершается из кабины поддержки пульта дистанционного управления. Мост крана заключается из двух пролетных балок, объединенных с концевыми балками, которые имеют коробчатое сечение. Подтележечный рельс укрепляется на верхнем поясе пролетной балки. На его концах поставлены опоры, ограничивающие крайние положения тележки. Устойчивость вертикальных стенок и прямоугольное сечение снабжаются привариванием крупных диафрагм к пролетной балке. Также есть небольшие диафрагмы, которые снабжают более ритмичную подачу груза на вертикальные стенки. На боковых пролетных балках предусмотрены площадки с перилами, которые назначены для сервиса тележки для грузов и передвижения [3].

Таблица 1 - Технические характеристики крана мостового электрического однобалочного опорного грузоподъёмностью 16 т [3]

Характеристики	Ед. изм.	Значение
Грузоподъёмность	т	16,0
Пролёт	м	4,5
База крана	м	1,5
Высота	м	0,928
Масса	т	1,720
База колёс	м	1,5
Скорость подъёма груза	м/мин	4
Скорость передвижения электротельфера	м/мин	20
Высота подъёма	м	11

Предоставленный мостовой кран применялся в качестве прототипа для дальнейших расчётов.

2 Метод расчета мостового крана в САЕ-системах

Нынешние системы инженерного анализа САЕ могут решать огромный спектр задач статики, устойчивости, модального анализа стержневых конструкций. Решающим алгоритмом заложенных в этих системах является метод конечных элементов (МКЭ).

МКЭ фигурирует собой осуществление принципа минимума полной потенциальной энергии для расчета напряженно-деформированного состояния (НДС) деформируемых систем. Дальше этот метод будет разбираться для случая неподвижного упругого тела.

Область применения МКЭ значительно расширилась, когда было представлено, что уравнения, устанавливающие элементы в задачах строительной механики, распространения тепла, гидромеханики, могут быть получены без затруднений с поддержкой таких вариантов метода взвешенных невязок, как метод Галёркина или метод наименьших квадратов [4]. Определение этого факта исполнило значительную роль в теоретическом обосновании МКЭ, т. к. позволило использовать его при решении многих типов дифференциальных уравнений. Таким образом, метод конечных элементов из численной процедуры решения задач строительной механики стал общим методом численного решения дифференциальных уравнений или систем дифференциальных уравнений. Этот прогресс был достигнут за довольно краткий срок, благодаря улучшению быстро работающих ЭВМ.

Главная идея метода конечных элементов заключается в том, что каждую постоянную величину (перемещение, напряжение, деформацию и т. п.) можно аппроксимировать моделью, заключающейся из отдельных элементов (участков). На любом из этих элементов изучаемая постоянная величина аппроксимируется кусочно-непрерывной функцией, которая основывается на значениях исследуемой постоянной величины в конечном числе точек анализируемого элемента.

В МКЭ состояние упругого тела приблизительно задается конечным числом степеней свободы. Соответственно этому методу, за степени свободы принимаются передвижения известной совокупности точек тела, именуемых узлами. Узлы предназначаются вершинами многогранников, на которые мысленно раскалывается упругое тело. Иными словами, в упругом теле выделяется совокупность довольно малых подобластей, объединенных друг с другом в узлах.

С этой точки зрения конструкцию можно анализировать как некоторую совокупность конструктивных элементов, объединенных в конечном числе узловых точек. Если известны соотношения между силами и перемещениями для каждого отдельного элемента, то, применяя знакомые приемы строительной механики, можно описать свойства и изучить поведение конструкции в целом [4].

В общей среде число точек связи безгранично, и именно это составляет существенную трудность приобретения численных решений в теории упругости. Представление конечных элементов представляет собой попытку пре-

одолеть эту тяжесть путем разбиения общего тела на некоторые элементы, взаимодействующие между собой только в узловых точках, в которых вводятся фиктивные силы, равносильные поверхностным напряжениям, распределенным по границам элементов. Если такая идеализация возможна, то задача переводится к обычной задаче строительной механики, которая может быть решена численно.

Таким образом, МКЭ состоит в следующем:

1 разбиение соответствующей конструкции на конечное число подобластей (конечных элементов), обладающих совместные узловые точки и в совокупности аппроксимирующих форму конструкции (дискретизация тела);

2 представление абсолютной потенциальной энергии упругого тела как функции перемещений его узлов;

3 составление системы линейных уравнений для перемещений узлов, снабжающих минимум полной потенциальной энергии упругого тела;

4 решение системы линейных уравнений и установление перемещений узлов;

5 нахождение НДС конструкции по перемещениям ее узлов.

Наличается значительное количество разнообразных типов конечных элементов. Для расчета стержневых систем могут применяться конечные элементы стержневого и балочного типов.

Стержневые конечные элементы представляют собой прямолинейные элементы стабильного поперечного сечения с двумя узлами 1 и 2, рисунок 4. Они воспринимают исключительно осевую нагрузку и в случае расчета ферм совпадают с их конструктивными элементами. Стержневой элемент характеризуется длиной L , модулем упругости E и площадью поперечного сечения A [4].

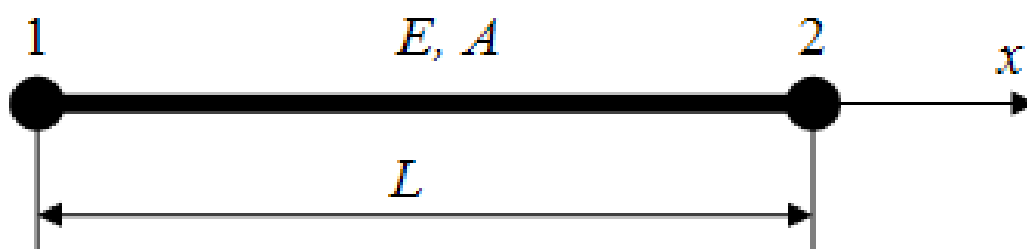


Рисунок 4 – Стержневой элемент [4]

Балочные конечные элементы также прямолинейны, могут обладать как постоянным, так и переменным поперечным сечением и предназначены для моделирования элементов конструкций, воспринимающих изгибающую нагрузку. Характеристиками балочных элементов являются длина L , модуль упругости E , площадь поперечного сечения A , осевые моменты инерции J_x и J_y и осевые моменты сопротивления W_x и W_y [4].

2.1 Потенциальная энергия деформации упругого тела в приближении метода конечных элементов

Вообразим суммарную потенциальную энергию деформации упругого тела через передвижения его узлов. При этом ограничимся разбором только стержневых конечных элементов. Обозначив, рисунок 5, u_1 , u_2 – перемещения узлов элемента; F_1 , F_2 – силы, воздействующие на надлежащие узлы элемента.

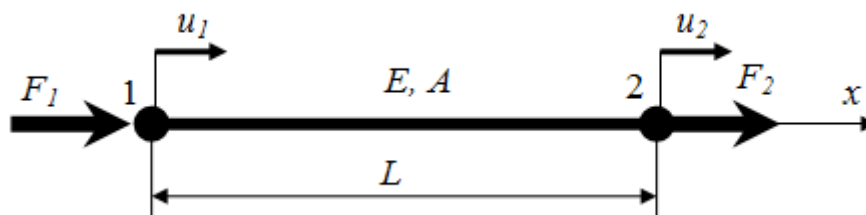


Рисунок 5 – Усилие в узлах [5]

Перемещение $u(x)$ точки элемента с координатой x при его упругом деформировании определяется формулой [5]:

$$u(x) = \left(1 - \frac{x}{L}\right)u_1 + \frac{x}{L}u_2, \quad (1)$$

где $N_1(x) = \left(1 - \frac{x}{L}\right)$, $N_2 = \frac{x}{L}$ – функции формы стержневого элемента, определяющие перемещения в пределах этого элемента.

Функции формы имеют следующими свойствами:

1 сумма функций формы по всем узлам конечного элемента тождественно равна единице [5]:

$$\sum_i N_i = 1$$

2 каждая из функций формы равна единице в одном из узлов и равна нулю во всех остальных.

Очевидно, что входящие в уравнение (1) функции формы удовлетворяют этим свойствам.

В матричной форме выражение (1) имеет вид [5]:

$$u(x) = [N_1(x) \quad N_2(x)] \cdot \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} = N u,$$

где $N = [N_1(x) \quad N_2(x)]$ – матрица-строка функции формы стержневого элемента;

$u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix}$ – матрица-столбец перемещения узлов стержневого элемента.

Из курса теории упругости известно соотношение между деформациями ε и перемещениями u [5]:

$$\varepsilon = \frac{du}{dx}.$$

С учетом введенных функций формы относительные деформации стержневого конечного элемента могут быть представлены в виде [6]:

$$\varepsilon = \frac{du(x)}{dx} = \frac{dN}{dx},$$

$$u = Bu, \tag{2}$$

где $B = dN/dx$ – матрица дифференцирования перемещений (матрица связи линейных деформаций и перемещений).

Для рассматриваемого стержневого конечного элемента [6]:

$$B = \frac{d}{dx}[N_1(x) \quad N_2(x)] = \begin{bmatrix} -\frac{1}{L} & \frac{1}{L} \end{bmatrix} = \frac{1}{L}[-1 \quad 1]. \tag{3}$$

Обозначим $\varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_x \\ \varepsilon_y \\ \varepsilon_z \end{bmatrix}$ – матрица-столбец линейных деформаций в преде-

лах конечного элемента, для стержневого элемента $\varepsilon = \varepsilon_x = \varepsilon$; $\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \end{bmatrix}$ – матрица-столбец нормальных напряжений в пределах конечного элемента, для стержневого элемента $\sigma = \sigma_x = \sigma$.

Связь между σ и ε устанавливается законом Гука [6]:

$$\sigma = E \varepsilon, \tag{4}$$

где $E = \begin{bmatrix} E_x & 0 & 0 \\ 0 & E_y & 0 \\ 0 & 0 & E_z \end{bmatrix}$ – матрица связи нормальных напряжений и линейных деформаций для пространственного напряженного состояния.

Эта матрица симметрична, т. е. $E = E^T$.

В случае стержневых конечных элементов (одноосное напряженное состояние) соотношение (4) принимает вид [6]:

$$\sigma_x = E \varepsilon_x, \text{ или } \sigma = E \varepsilon.$$

С учетом формулы (2) выражение для нормальных напряжений (4) примет вид [6]:

$$\sigma = E B u.$$

Для стержневого конечного элемента нормальное напряжение определится формулой [6]:

$$\sigma = E B u. \quad (5)$$

Удельная потенциальная энергия деформации конечного элемента U_0 (потенциальная энергия деформации единицы объема элемента) определяется формулой [6]:

$$U_0 = \frac{1}{2} \sigma^T \varepsilon.$$

С учетом формул (2) и (4) получим [6]:

$$U_0 = \frac{1}{2} (E\varepsilon)^T \varepsilon = \frac{1}{2} \varepsilon^T E^T \varepsilon = \frac{1}{2} (Bu)^T E (Bu) = \frac{1}{2} u^T B^T E B u. \quad (6)$$

Формула (6) связывает удельную потенциальную энергию деформации конечного элемента с перемещениями его узлов.

Определим суммарную потенциальную энергию деформации упругого тела.

Потенциальную энергию деформации всего упругого тела U получим суммированием энергий деформаций отдельных конечных элементов [6]:

$$U = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m V_i \sigma^T \varepsilon.$$

где V_i – объем i -того конечного элемента;

m – число конечных элементов.

Если ввести диагональную матрицу объемов конечных элементов V , последняя формула примет вид [6]:

$$U = \frac{1}{2} \sigma^T V \varepsilon,$$

или с учетом формулы (6) [6]:

$$U = \frac{1}{2} u^T B^T E V B u. \quad (7)$$

В случае конечных элементов постоянного объема $V_i = V = const$ формула (7) для потенциальной энергии деформации упругого тела примет следующий вид [6]:

$$U = \frac{V}{2} u^T B^T E B u. \quad (8)$$

2.2 Уравнения метода конечных элементов

Отметим F вектор (матрицу-столбец), воздействующих на узлы сил. Для разбираемого стержневого конечного элемента [7]:

$$F = \begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{bmatrix}.$$

Работа W , производимая действующими на узлы силами, в общем виде определяется формулой [7]:

$$W = \frac{1}{2} u^T F. \quad (9)$$

Для рассматриваемого стержневого элемента [7]:

$$W = \frac{1}{2} F_1 u_1 + \frac{1}{2} F_2 u_2.$$

Изменение потенциальной энергии деформации тела U равно работе W внешних (действующих на узлы) сил, т. е. $U = W$. С учетом формул (8) и (9) получим [7]:

$$\frac{V}{2} u^T B^T E B u = \frac{1}{2} u^T F,$$

или

$$VB^TEBu - F = 0. \quad (10)$$

Введем обозначение [7]:

$$R = VB^TEB \quad (11)$$

R – матрица жесткости системы узлов.

С учетом этого уравнение (10) примет вид [7]:

$$Ru - F = 0. \quad (12)$$

Уравнение (12) представляет собой матричную форму записи системы уравнений метода конечных элементов.

Формула (11) для матрицы жесткости R , входящей в уравнение (12), может быть использована для различных типов конечных элементов. В частности, для рассматриваемого стержневого элемента с учетом зависимости (3) и формулы для объема этого элемента $V = AL$ получим выражение для матрицы жесткости [7]:

$$R = VB^TEB = AL \frac{1}{L} \begin{bmatrix} -1 \\ 1 \end{bmatrix} E \frac{1}{L} \begin{bmatrix} -1 & 1 \end{bmatrix} = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Следует отметить, что предложенная реализация МКЭ является наиболее простой, что составляет ее достоинство. При разбиении тела на два-три конечных элемента определить перемещения узлов по формуле (12) можно даже ручным счетом [7].

3 Автоматизированный расчёт стержневой модели металлоконструкции мостового крана

APM Structure 3D предназначен для комплексного анализа трехмерных конструкций произвольной формы. С его помощью можно методом конечных элементов выполнить прочностной расчет произвольно закрепленных моделей, включающих стержневые, тонкие пластинчатые и объемные твердотельные элементы конструкций (включая сборки), а также канаты и произвольные комбинации всех перечисленных выше элементов [8].

Кроме необходимых прочностных характеристики, металлоконструкция должна быть технологичной, иметь малую стоимость и вес, удовлетворять эстетическим требованиям, а внешние поверхности конструкций должны быть гладкими для снижения возможности образования коррозии и удешевления окраски. На основании этого проектируем металлоконструкцию мостового крана. Основная балка выполнена из двутавра, раскосы выполнены из уголков, а поперечные балки из труб прямоугольного сечения.

Создание расчётной модели.

Предварительно принимаем для основной несущей конструкции:

- материал: сталь 3 ИСО 630-80;
- сечение: двутавр №50 с наклоном полок МС ИСО 657-13.

Предварительно принимаем для труб:

- материал: сталь 3 ИСО 630-80;
- сечение: труба прямоугольная 250x180x8 ИСО 236-66.

Предварительно принимаем для раскосов:

- материал: сталь 3 ИСО 630-80;
- сечение: уголок равнополочный 100x100x12 ИСО509-93.

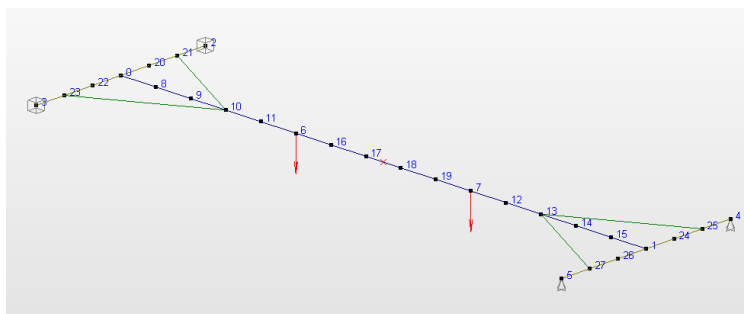
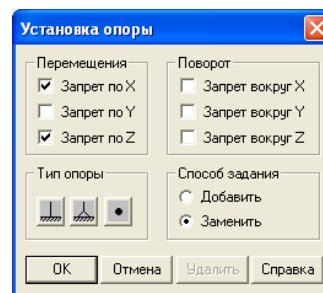
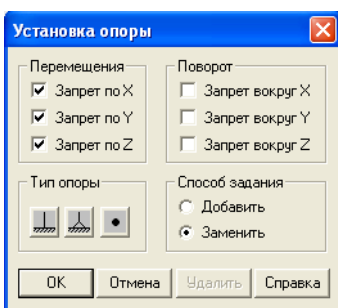


Рисунок 6 - Расчётная схема мостового крана

В представленной схеме показаны все стержни мостового крана и приложенные нагрузки.

Граничные условия и нагрузки.

Для ограничения перемещения мостового крана задаём опоры на рёбрах труб. На узлах 2 и 3 ограничиваем все перемещения. Условия опор этих двух других опор показаны на рисунке 7, а.



а)

б)

а – в узлах номеров 2 и 3; б – в узлах номеров 4 и 6

Рисунок 7 - Установка опор

Опоры на узлах номеров 4 и 6 ограничивают только по X и Z. Условия опор показаны на рисунке 7, б.

Прикладываем нагрузки на расстоянии 0,75 метра от центра основной несущей конструкции равные 92 000 Н.

Статический расчёт и анализ полученных данных.

Для статического анализа конструкцию проверяем на связность и на сечение, а также в графе «Множитель» ставим «1», рисунок 6, для учёта массы металлоконструкций мостового крана.

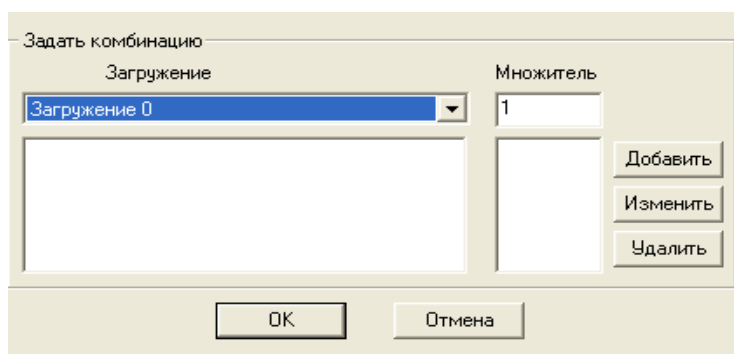


Рисунок 8 – Загрузки без учета собственного веса

Начинаем статический расчёт и, когда программа посчитает данную конструкцию, выводим расчёт на карты «Напряжения», рисунок 9, «Перемещения», рисунок 10, и «Коэффициент запаса по текучести», рисунок 11.

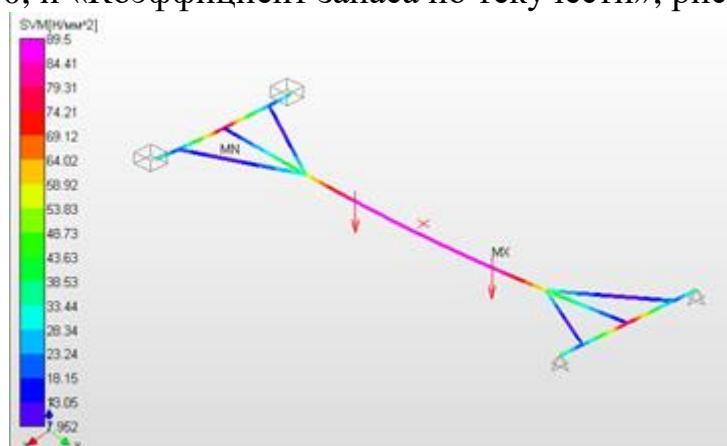


Рисунок 9 - Карта напряжений

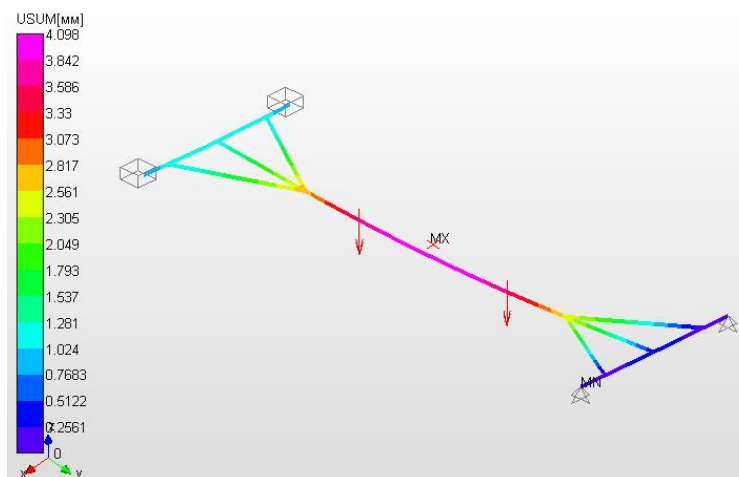


Рисунок 10 - Карта перемещений

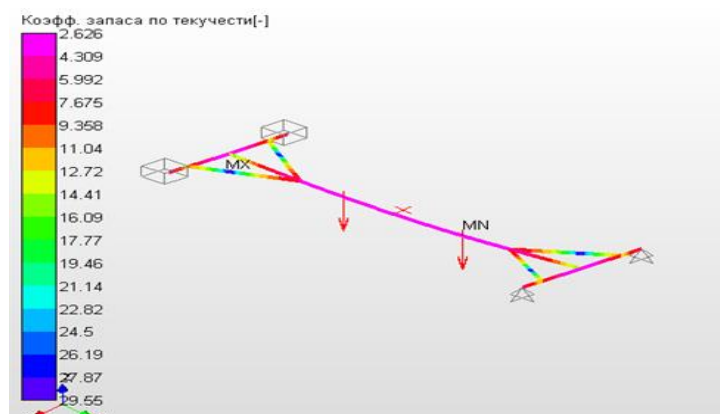


Рисунок 11 - Коэффициент запаса по текучести

Карта напряжений представляет собой изображение рассчитываемой конструкции, участки стержней которой окрашены в разные цвета, в зависимости от возникающих в них напряжений, рисунок 9. Слева от изображения рассчитываемой модели мостового крана имеется цветовая шкала, с помощью которой можно определить величину перемещений балки. Максимальное перемещение балки конструкции показано розовым оттенком шкалы, а минимально перемещение – синим.

Построенная карта показывает, что максимальное напряжение создаётся в месте приложенных сил и равно $89,5 \text{ Н/мм}^2$. Так же возникают незначительные напряжения в раскосах и поэтому их выполняют с меньшим сечением.

На карте перемещений видно, что наибольшее перемещение в центральной зоне и равно $4,069 \text{ мм}$, рисунок 10. Наименьшее перемещение в балке, которая не жестко закреплена и равна $0,2561 \text{ мм}$.

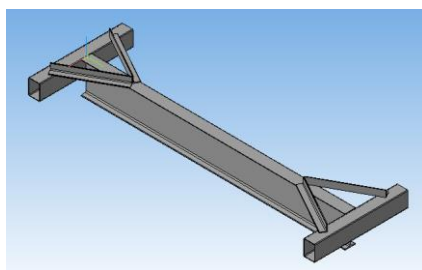
Минимальный коэффициент запаса по текучести равен $2,626$, который показывает, что сечения стержней моста подобраны таким образом, что

большая часть конструкции имеет коэффициент запаса в пределах 2,5, рисунок 11.

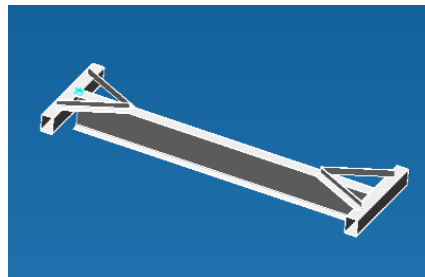
3.1 Расчёт модели металлоконструкции мостового крана, содержащей объёмные конечные элементы

Создание и импорт объёмной модели.

На основе полученных результатов создаём модель мостового крана в программе Компас 3D в виде детали, рисунок 12, а.



а)



б)

а - создание в Компас 3D; б - импорт модели в APM Studio

Рисунок 12 - 3D модель мостового крана

Готовую модель преобразовываем в расширение «.stp» и импортируем в программе APM Studio, рисунок 12, б.

Граничные условия и нагрузки.

Для ограничения перемещения мостового крана задаём опоры на рёбрах труб так же, как и в предварительном расчёте.

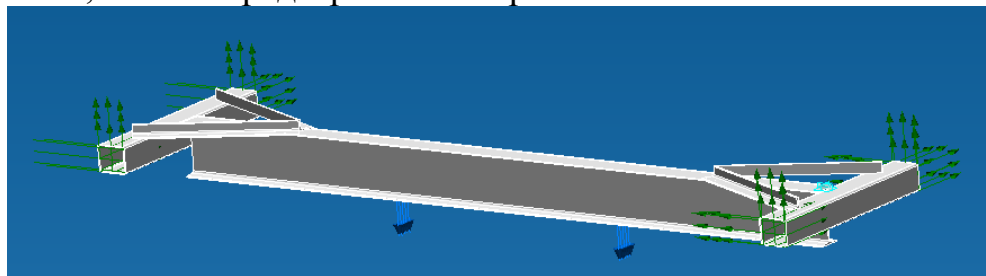


Рисунок 13 - Расчётная схема с приложенной нагрузкой и граничными условиями

Далее прикладываем нагрузки 92 000 Н в центральной зоне.

Генерация конечно-элементной сетки.

Для генерации конечно-элементной сетки назначаем максимальную длину стороны элемента равной 50 мм, рисунок 14.

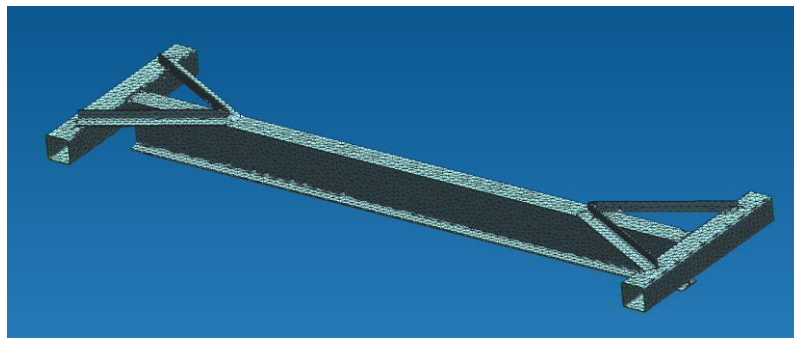


Рисунок 14 - Сгенерированная модель мостового крана

По окончании генерации у модели получилось 32 426 конечных элементов и количество узлов 10 320.

Статический расчёт и анализ полученных результатов.

После генерации начинаем статический расчёт мостового крана. По окончании расчёта выводим карты «Напряжения», рисунок 15, «Перемещения», рисунок 16, и «Коэффициент запаса по текучести», рисунок 17.

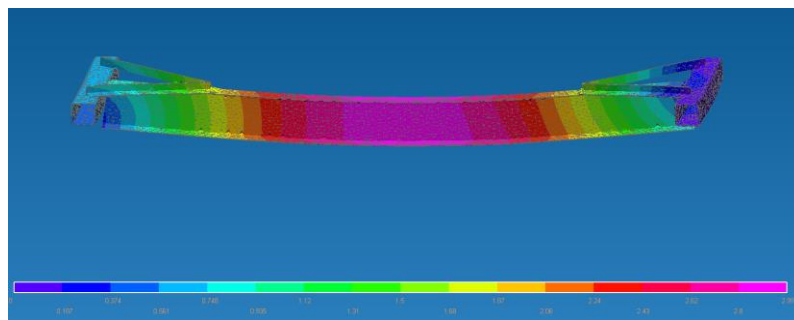


Рисунок 15 – Карта напряжений

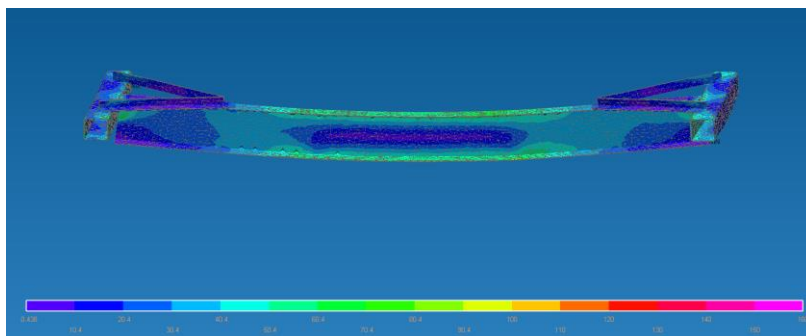


Рисунок 16 - Карта перемещений

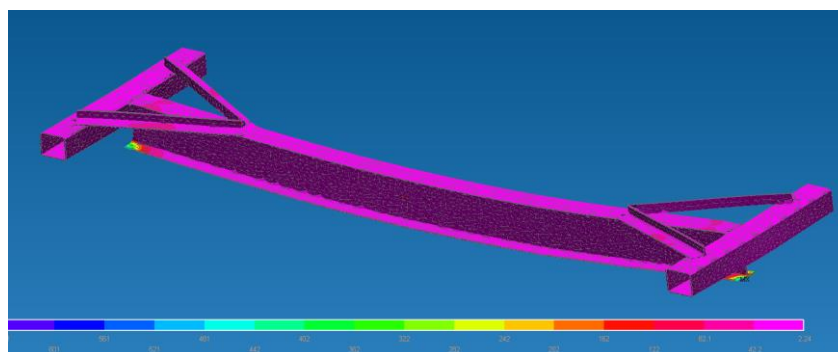


Рисунок 17 - Коэффициент запаса

По данным результатам видим, что наибольшее напряжение равно 160 Н/мм^2 ; максимальные перемещения равны $2,99 \text{ мм}$, а минимальный коэффициент запаса по текучести равен $2,24$, что соответствует прочностным требованиям.



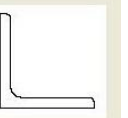
3.2 Сравнение результатов, общие выводы и рекомендации

Конструкция мостового крана выдерживает приложенные к нему статические нагрузки. Выбранные сечения полностью удовлетворяют условиям прочности, предъявляемые к металлоконструкции, рисунок 18.

Разница напряжений между предварительным и точным расчётами равна $70,5 \text{ Н/мм}^2$, разница в перемещениях равна $1,106 \text{ мм}$, по коэффициенту запаса равна $0,386$.

Выразим в процентах отклонения расчётов APM Structure 3D и APM Studio: напряжения – $78,8 \%$, перемещения – 37% , коэффициент запаса по текучести – $17,2 \%$.

Данные сечения выбраны оптимально относительно технико-экономического показателя, то есть нет перерасхода материала и утяжеления конструкции.

Сечение			Сечение			Сечение		
Название	Двутавр с уклоном №50 ГОСТ 8239-89		Название	Труба 250x180x8 ГОСТ 12336-66		Название	L100x12 ГОСТ 8509-93	
Jz, [мм ⁴]	3.9719e+008		Jz, [мм ⁴]	5.5008e+007		Jz, [мм ⁴]	2.0983e+006	
Jy, [мм ⁴]	1.036e+007		Jy, [мм ⁴]	3.3312e+007		Jy, [мм ⁴]	2.0983e+006	
Tetha, [градус]	0.00020246		Tetha, [градус]	-0.0040342		Tetha, [градус]	-45	
Jzc, [мм ⁴]	3.9719e+008		Jzc, [мм ⁴]	5.5008e+007		Jzc, [мм ⁴]	8.719e+005	
Jyc, [мм ⁴]	1.036e+007		Jyc, [мм ⁴]	3.3312e+007		Jyc, [мм ⁴]	3.3247e+006	
Jp, [мм ⁴]	4.0754e+008		Jp, [мм ⁴]	8.8319e+007		Jp, [мм ⁴]	4.1966e+006	
Jкр, [мм ⁴]	7.1551e+005		Jкр, [мм ⁴]	6.9612e+007		Jкр, [мм ⁴]	1.1399e+005	
F, [мм ²]	10019	F, [мм ²]	6353.3	F, [мм ²]	2293			
<input type="button" value="Выбрать сечение"/>			<input type="button" value="Выбрать сечение"/>			<input type="button" value="Выбрать сечение"/>		

а - двутавр; б - труба; в – уголок

Рисунок 18 - Сечения профилей

4 Технологическая часть

4.1 Технология подготовительных работ

На стадии подготовительных работ нужна подготовка металлического профиля. Для производства главной несущей устройства употребляют двутавр с уклоном полок №50 ИСО 657-13. Поперечные балки изготавливают из трубы прямоугольной с сечением 250x180x8 мм ИСО 336-66. Для укосин применяем уголок равнобокий размером сечения 100x12 мм ИСО 657-1.

Двутавр поставляют с поддержкой кран-балки на рабочее место слесаря для нарезки, а трубу и уголок передвигают вручную. Для этого заготовку доставляют на транспортной машине и дальше стропят на кран-балку для прямого перемещения на рабочее место. Для строповки назначенного к подъему груза обязан применяться грузовые стропы, соответствующие массе и характеру поднимаемого груза, с учетом числа ветвей и угла их наклона. Стропы общего предназначения надлежит подбирать так, чтобы угол между их ветвями не превышал 90°. В зависимости от вида строповки изготавливается перерасчет грузоподъемности строп. Стальные и железобетонные элементы поднимают с поддержкой особых траверс, допускающих многоярусное расположение монтируемых деталей. Траверсы нужны для равномерного распределения нагрузки и могут быть как линейными, так и пространственными, в зависимости от типа поднимаемого груза.

Следующая ступень – нарезка. Нарезку можно осуществить несколькими видами инструментов: пресс-ножницы; гильотинные ножницы; диско-

вые ножницы; газовый резак или автоген; уголкового ножовки; приводные ножовки.

Дальше, если нужно, то шлифуют края кромок для предшествующих работ. Шлифовку можно осуществить разнообразными способами [9]:

- шлифование с продольной подачей;
- шлифование врезанием отличается;
- при бесцентровом шлифовании;
- круглое внутреннее шлифование;
- плоское шлифование.

Помимо шлифовки, с изделия убирают заусенцы. Убрать их можно вручную при поддержке напильника, так же убирают электролитическим удалением и вибрационным обработыванием в абразивной среде, пескоструйной очисткой, ополаскиванием разными веществами и промыванием абразивными добавками под высоким давлением.

Дальше после обработок кромок заготовку подготавливают к сварке. В подготовку металла под сварку входит нарезка фасок, правка, разметка и наметка, резка и обработка кромок, холодная и горячая гибка. Исправление производится предпочтительно на станках, а иногда вручную. Профильный прокат исправляют на вальцах, которые больше всего имеют семь или девять валков [9].

4.2 Технология сварочных работ

Сварка – это процесс производства неразъёмного соединения деталей путём местного нагрева их до расплавленного состояния с употреблением или без употребления механического усилия, рисунок 19. Соединение деталей сваркой занимает одно из главных мест в современной технологии. Сварка более экономична, чем клёпка.



Рисунок 19 - Сварочные работы [10]

Трудоемкость сварочных работ в сварных устройствах составляет примерно 30% общей трудоемкости ее изготовления. Изготовление сварных устройств из разных металлов и сплавов изготавливается разными методами

и вариантами сварки. В подъемно-транспортном машиностроении по объему использования электродуговая сварка является главным видом сварки. Наиболее обширно используют ручную электродуговую сварку, полуавтоматическую и автоматическую сварку под слоем флюса и в среде защитных газов. Электродуговую сварку можно выполнять металлическим или угольным электродами. Преимущественно распространена сварка металлическим электродом, тут сварочная дуга создается и горит при прохождении сварочного тока между электродом и свариваемым изделием. Преимущественно сварку ведут на переменном токе, так как меньше тратится электроэнергии, и используют относительно нетрудную аппаратуру. Для предохранения расплавленного металла от вредного воздействия атмосферного воздуха и получения качественного сварного шва при ручной электродуговой сварке используют электроды с защитными (качественными) покрытиями, а при автоматической и полуавтоматической - флюсы и углекислый газ.

Электроды для ручной электродуговой сварки, используемые для сварки металлоконструкций в подъемно - транспортном машиностроении, выпускают по ИСО 467-75. Размеры и общие технические запросы для электродов регламентируются ИСО 466-75.

Незамедлительно после завершения сварки необходимо провести зачистку для того чтобы убрать рыхлость и скопление разных частиц [10].

Местоположения швов на металлоконструкции представлены на чертеже КП МКСМ.15091372.10.00.001.

Технология окрасочных работ.

При покраске кранов есть обусловленные нюансы, зависящие от его вида и среды использования, от чего зависит и предпочтение лакокрасочных материалов для их покраски и проведения работ. Осложняющим фактором при покраске крана это покраска без отрыва крана от производства [10].

Покраску кранов можно выполнять при температуре от -10, а то краска будет при нанесении растекаться и трескаться.

Этапы покраски крана:

1 зачистка металла от прежней краски и ржавчины.

Наиболее распространёнными способами очистки и подготовки к покраске металлов показываются:

- механическая очистка вручную или с поддержкой электроинструмента, рисунок 20;

- химическая очистка – с использованием химических средств, снабжающих размягчение и удаление коррозии и загрязнений;

- пескоструйная обработка – очистка при поддержке жёстких абразивных материалов (песок, купершлак и т.п.), подаваемых под давлением на



шлифуемую поверхность.

Рисунок 20 - Механическая зачистка металла при помощи УШМ [10]

Все перечисленные методы имеют значительные недостатки:

Механическая очистка – продолжительный трудоёмкий процесс, не снабжающий высокого качества, в особенности при шлифовке поверхностей сложной конфигурации, не ручающийся сохранения целостности материала шлифуемой поверхности

Химическая очистка – довольно затратный метод, к тому же наносящий главный экологический вред.

2 обезжиривание и обеспыливание металла.

Обеспыливание и обезжиривание поверхности – это неизменный процесс в подготовке поверхности после очистки. Обеспыливание поверхности происходит при помощи мягкой кисти, сжатого воздуха или сильной струей воды. После воды поверхность нужно тщательно просушить, рисунок 21 [11].



Рисунок 21 - Обезжиривание металла растворителем [11]

Обезжиривают поверхность разными растворителями, больше всего уайт-спиритом, или водными моющими растворами. Испытать чистоту поверхности можно при помощи белой бумаги или салфетки.

3 грунтовка металла.

Каждая грунтовка после нанесения и высыхания образует на поверхности прозрачный слой, что мешает попаданию влаги и коррозии в следствие губительного воздействия. Включая того, верно подобранный грунт способен при соблюдении правил и техники нанесения существенно улучшить адгезию обработанной поверхности и главного отделочного материала.

Предпочтение отделочного материала постоянно зависит от особенностей основного материала, на которую он будет наноситься, а также от обстоятельств, в которых будет совершаться нанесение

4 нанесение лакокрасочного материала не менее двух слоев.

Для покрытия красок, лаков и других лакокрасочных материалов создано несколько различных вариантов: в барабанах, распыление в электриче-

ском поле, аэрозольное распыление, налив, электроосаждение, нанесение с использованием валков, струйный облив, распыление под высоким давлением, пневматическое распыление, шпателей кисти, шпателей и т.п., рисунок 22.

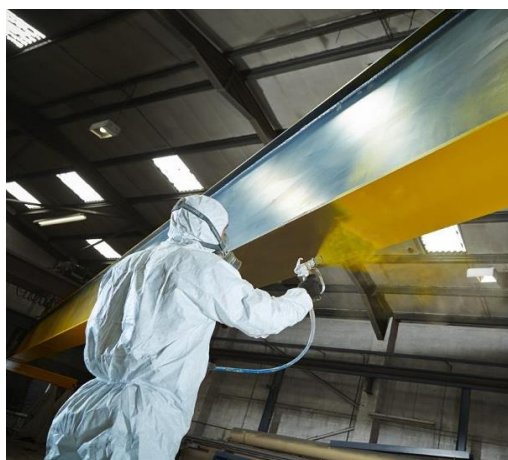


Рисунок 22 - Нанесение лакокрасочного материала распылением под высоким давлением [12]

Способ нанесения лакокрасочного материала выбирается с учетом вида детали, ее назначения, габаритов, требований к готовому покрытию, условий производства, экономической целесообразности и т. д.

Пневматическое распыление – более распространенный метод нанесения красок и лаков. Пневматическое распыление может выполняться с подогревом лакокрасочного материала и без него (используется чаще).

Пневматическое распыление с подогревом лакокрасочного материала.

Подогрев позволяет распылять лакокрасочный материал с увеличенной вязкостью без употребления растворителей (добавочного разведения красок), т. к. при нагреве уменьшается поверхностное натяжение и вязкость ЛКМ. Часто для обусловленных лакокрасочных материалов рекомендуется лучший показатель исходной вязкости. То, на сколько понизится вязкость, в большей степени зависит от пленкообразующего компонента лакокрасочной системы [4].

Покрытие, заработанное данным методом, выделяется более значительным качеством. Это определено тем, что при подогреве краски возрастает ее текучесть, умножается глянец и поверхность не «белеет» от конденсата влаги. Пневматическое распыление с нагревом лакокрасочного материала имеет некоторые преимущества перед распылением без нагрева [12]:

- за счет минимального числа наносимых слоев увеличивается производительность;

- благодаря нагреву истратится меньше растворителей (для пентафталевых, глифталевых, масляных, меламино-, мочевиноалкидных материалов около 40%, а для нитроцеллюлозных – до 30%);

- можно наносить материалы с значительным содержанием сухого вещества и повышенной вязкости;

- из-за быстроты нанесения и уменьшенного содержания в ЛКМ растворителей понижаются потери на туманообразование;

- при подогреве усиливается укрывистость лакокрасочного материала и усиливается толщина наносимого защитного слоя, за счет чего понижается число наносимых слоев.

Не все лакокрасочные материалы можно наносить способом пневматического распыления с подогревом. Годятся только те, структура которых не изменяется при нагревании, а покрытие создастся с большими защитными свойствами. Обширно применяются меламиноалкидные, мочевиновые, битумные, глифталевые эмали и лаки, нитроцеллюлозные, нитроглифталевые, перхлорвиниловые, нитроэпоксидные эмали марки ХВ-113.

Лакокрасочные покрытия, нанесенные пневматическим распылением с предварительным подогревом, по механо-физическим свойствам и коррозионной стойкости не уступают слоям из тех же материалов, разбавленных до необходимой вязкости растворителем и нанесенных распылением без подогрева (при одинаковой толщине).

В машиностроении подогретые лакокрасочные материалы больше всего наносятся с применением установки УГО-5М (установка горячей окраски). Данный аппарат взрывонепроницаем [13].

5 Нанесение информационных и технических обозначений.

Маркировка обязана наноситься в точках, доступных для обзора [7].

На мостовом кране обязана быть поставлена табличка, содержащая:

- обозначение изделия (тип, марка);
- грузоподъемность
- наименование или товарный знак изготовителя;
- наименование изделия;
- пролёт моста;
- высоту подъёма грузозахватного органа;
- напряжение питания;
- заводской порядковый номер изделия;
- дату выпуска (изготовления).

Табличка должна соответствовать требованиям ГОСТ 12969 и ГОСТ 12971 [14].

4.3 Испытания мостового крана

Кран-балка электрическая подвесная и кран-балка электрическая опорная обязана быть подвергнута статическим и динамическим проверкам, рисунок 23.

Статические проверки крана проводятся нагрузкой, на 25% превосходящей его паспортную грузоподъемность [15].



Рисунок 23 - Испытание мостового крана [15]

Статические проверки мостового крана проводятся следующим образом. Кран мостовой монтируется над опорами кранового пути, а его тележка (тележки) — в положение, отвечающее предельному прогибу моста. Кран подвесной однобалочный и кран опорный однобалочный монтируется над опорами кранового пути, а его таль электрическая канатная — в положение, отвечающее максимальному прогибу несущей балки. Контрольный груз подымается краном на высоту 100-200 мм и выдержит в таком положении в течение 10 мин.

После 10 минут груз спускается, после чего проверяют наличие остаточной деформации моста крана. При обнаружении остаточной деформации, появившейся следствием проверки крана грузом, кран не обязан пропускаться к работе до выяснения специализированной организацией причин деформации и нахождения возможности дальнейшей работы крана.

Кран мостовой считается перенесшим статические проверки, если в течение 10 минут поднятый груз не опустится на землю, а также не будет найдено трещин, остаточных деформаций и других повреждений металлоконструкций, и механизмов.

Динамические проверки крана проводятся грузом, масса которого на 10% превосходит его паспортную грузоподъемность, и обладают целью испытание действия ее механизмов и тормозов.

При динамических проверках кранов (не включая кранов кабельного типа) совершают многократный (не менее трех раз) подъем и опускание груза, а также контроль действия всех иных механизмов при сочетании рабочих действий, предусмотренных руководством по использованию крана.

У крана, оснащенного двумя и более механизмами подъема, обязан быть испытан всякий механизм. Для проведения статических и динамических проверок владелец крана обязан снабдить наличие комплекта проверочных (контрольных) грузов с подтверждением их действительной массы [15].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дипломной работе были рассмотрены назначение и область применения мостовых кранов, описаны конструкции мостового крана, устройства для перемещения крана (двигатель, тормозная система), механизм подъема (лебедка, тележка), технические характеристики мостового крана.

В теоретической части были приведены основы метода расчета стержневых конструкций - метода конечных элементов. Представлены основные уравнения этого метода, уравнения потенциальной энергии деформации упругого тела в приближении метода конечных элементов.

В дипломной работе был создан алгоритм компьютерного расчета главной балки мостового крана, как стержневой модели в APM STRUCTURE и солид модели в STUDIO.

На основе расчета были сделаны следующие выводы:

- конструкция мостового крана выдерживает приложенные к нему статические нагрузки;

- выбранные сечения полностью удовлетворяют условиям прочности, предъявляемые к металлоконструкции;

- разница напряжений между предварительным и точным расчётами равна $70,5 \text{ Н/мм}^2$, разница в перемещениях равна $1,106 \text{ мм}$, по коэффициенту запаса равна $0,386$, процентах отклонения расчётов APM Structure 3D и APM Studio: напряжения – $78,8 \%$, перемещения – 37% , коэффициент запаса по текучести – $17,2 \%$;

- выбранные сечения оптимально относительно технико-экономического показателя, т. е. нет перерасхода материала и утяжелении конструкции.

В технологической части приведены последовательность монтажных работ и методы испытания грузового крана.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Богуславский П.Е. Металлические конструкции грузоподъемных машин и сооружений. - М.: Машгиз, 1961. - 519 с.
- 2 Болотин В.В. 12 Аксенов Н.П. Грузовая устойчивость передвижных кранов. М.: Машгиз, 1952. - 152 с.
- 3 Вышнеградский И.А. Курс подъемных машин. – С-Петербург, 1985. - 460 с.
- 4 Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. - М.: Машгиз, 1975 - 268 с.
- 5 Зарецкий А.А. Исследование колебаний строительных башенных кранов с поворотной колонной при работе механизма подъема. Дисс. канд. техн. наук - М.: 1962. - 171 с.
- 6 Шелофаст В.В., Чугунова Т.Б. Основы проектирования машин. М.: АПМ, 2007, 240 стр.
- 7 Шарафутдинов Г. Некоторые плоские задачи теории упругости. М.: Научный мир, 2014, 464 с.
- 8 Замрий А. Практический учебный курс. CAD/CAE система ARM WinMachine М: Научный мир 2008-240 с.
- 9 Александрии А.И., Соколов Н.Д. Передвижные краны в строительстве. - М.: ОНТИ, 1936. - 156 с.
- 10 Майзель В.С. Металлические конструкции подъемно-транспортных машин. Учеб. пособ. Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1966. 182 с.
- 11 Ицкович Г.М. и др. Курсовое проектирование деталей машин. 6-е издание., переработанное. М., «Машиностроение», 1970 15 Иванова В.С.'Усталостное разрушение металлов. - М.: Ме-таллзфгиздат, 1963. - 272 с.

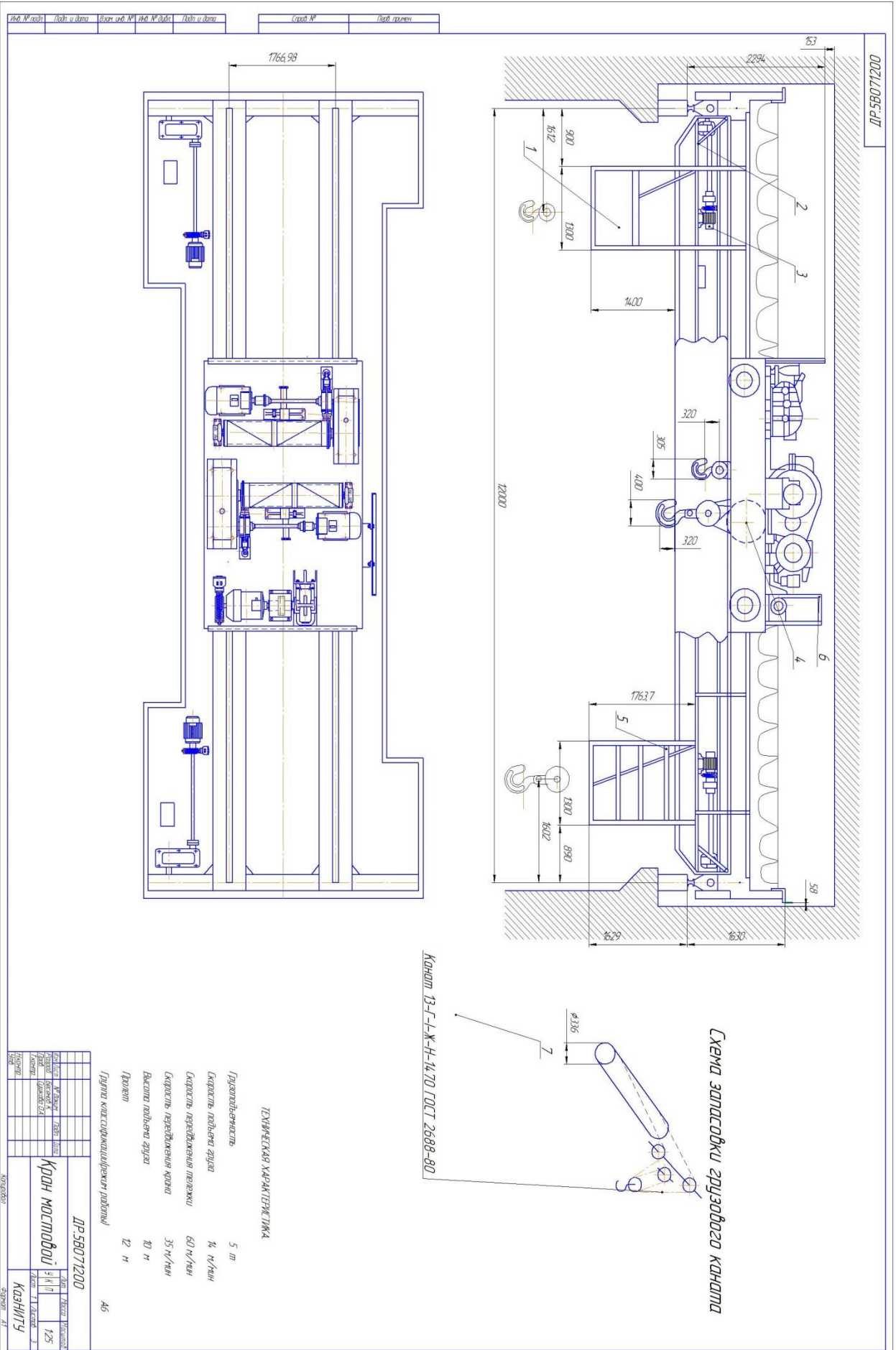
12 remcran.ru/articles/article/technology-installation-of-bridge-crane/

13 Инструментальные испытания башенного крана ХІЗЗІ фирмы Зейтц: Отчет/ВНИИСтройдормаш; руководитель работы А.А.Зарецкий; Арх. й 2231 - М.: 1966. - 117 с

14 docs.cntd.ru/document/1200121690

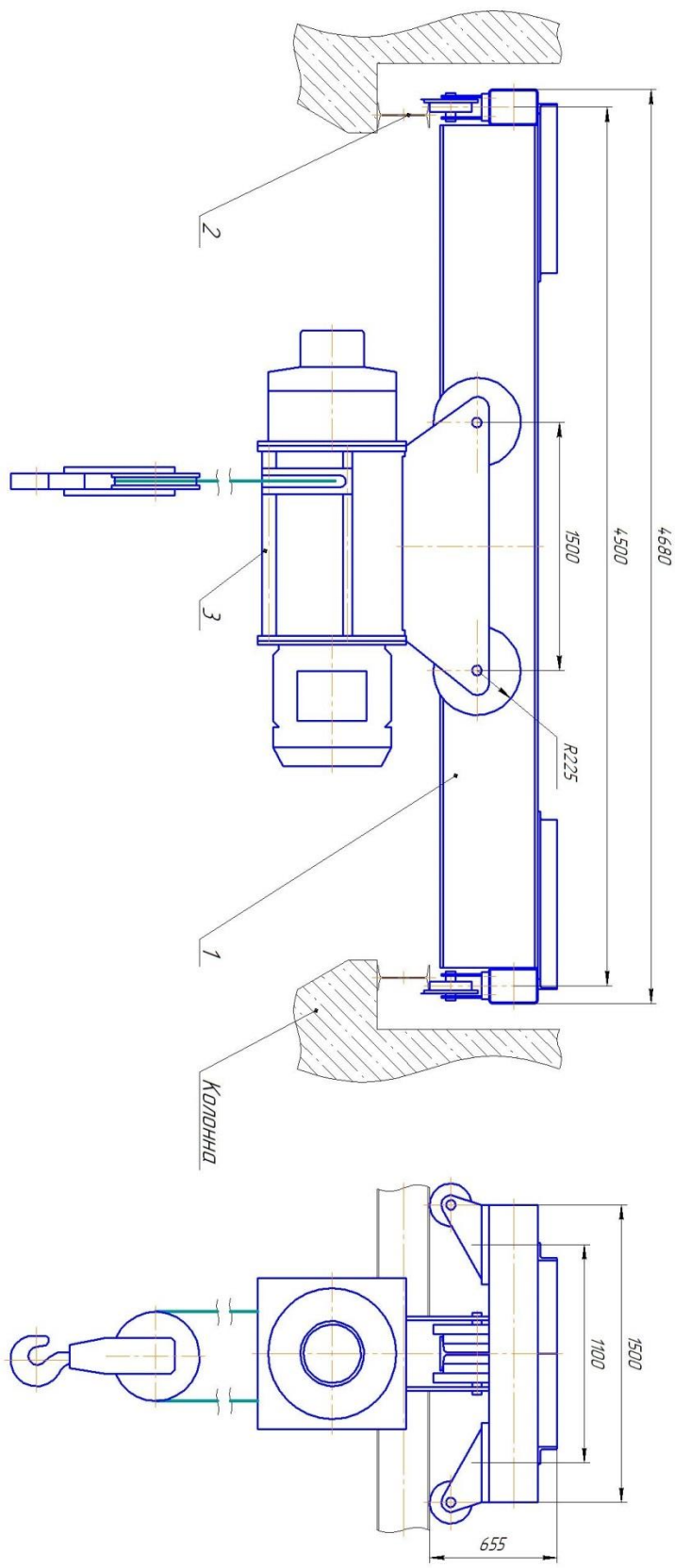
15 Экспериментальное исследование крана БК-180: Отчет /ВНИИСтройдормаш; руководитель работы А.А.Зарецкий; Арх. № 2469. - М.: 1967. - 80 с.

Приложение А



Приложение В

ДР-5Б071200



Технические характеристики

- 1. Грузоподъемность, т 16,0
- 2. Масса, т 1,720
- 3. Скорость подъема груза м/мин 4,0
- 4. Скорость передвижения электродвигателя м/мин 20,0
- 5. Скорость передвижения масляного карана м/мин 20,0
- 6. Высота подъема, м 11,0

Инв. № подл.	Подп. и дата	Взам. инв. №	Инв. № дубл.	Подп. и дата
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Справ. №	Перв. примен.
----------	---------------

Исполн.	№ докум.	Подп.	Дата	Кран масляный Чертеж общего вида	ДР-5Б071200	Лист	Колонны	Формат А2
Взнос.	Исполн. к.							
Исполн.	Исполн. Д.А.							
Исполн.								

Приложение С

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Прим.	
				Сборочные единицы			
A4		1	КП МКСМ СБ	Кран мостовой	1		
				Прочие изделия			
		2		Пути подкрановые	2		
		3		Электротельфер	1		
			МСБ-15-2р. СБ				
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>			
<i>Разраб.</i>	<i>Бесенов К</i>				<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	
<i>Проверил</i>	<i>Сушкова О.А.</i>				0	1	
						<i>Листов</i>	
			<i>Кран мостовой</i>		<i>КазНИТУ им.К.И.Сатпаева</i>		
<i>Н.контр.</i>							
<i>Утв.</i>							