

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет: Инженерно-физический
Кафедра: Стартовые и технические ракетные комплексы
Направление подготовки 24.03.01 – Ракетные комплексы и космонавтика
Направленность (профиль) образовательной программы – Ракетно-космическая техника

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Зам. зав. кафедрой

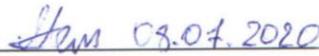

_____ В.В. Соловьев
« 19 » _____ 2020 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему: Прогнозирование состояния транспортно-установочного оборудования
РКН «Союз»

Исполнитель

студент группы 617-об



А.Е. Метленко

(подпись, дата)

Руководитель

доцент, к. т. н.


_____ 08.07.2020

В.В. Соловьев

(подпись, дата)

Нормоконтроль

ассистент


_____ 08.07.2020

М.А. Арзков

(подпись, дата)

Благовещенск 2020

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
АМУРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(ФГБОУ ВО «АмГУ»)

Факультет инженерно-физический

Кафедра стартовых и технических ракетных комплексов

УТВЕРЖДАЮ

Зам. зав. кафедрой


подпись И.О.Фамилия

« 20 » апреля 2020
г.

ЗАДАНИЕ

К выпускной квалификационной работе студента Метленко Арсения Евгеньевича

1. Тема выпускной квалификационной работы: Прогнозирование состояния транспортно-установочного оборудования РКН «Союз»

(утверждена приказом от 14.04.2020 № 711-уч)

2. Срок сдачи студентом законченной работы (проекта): 14.07.2020

3. Исходные данные к выпускной квалификационной работе: комплект чертежей транспортно-установочного агрегата, руководство по эксплуатации транспортно-установочного агрегата

4. Содержание выпускной квалификационной работы (перечень подлежащих разработке вопросов): разработка 3Д модели ТУА, оценка критических мест нагрузки, предложения по методам контроля и прогнозирования состояния ТУА

5. Перечень материалов приложения: (наличие чертежей, таблиц, графиков, схем, программных продуктов, иллюстративного материала и т.п.): цели и задачи бакалаврской работы; блок-схема испытаний ТУА; блок-схема создания и подготовки модели в ППП Comsol; блок-схема исследования воздействия нагрузки на модель в ППП Comsol; блок-схема исследования петли гистерезиса в ППП Comsol; блок-схема расчетов Solidworks МКЭ; ТУА общий вид; блок-схема испытаний ТУА коэрцитиметром.

6. Дата выдачи задания: 20.04.2020

Руководитель выпускной квалификационной работы: В.В. Соловьев, доцент, к.т.н.

(фамилия, имя, отчество, должность, ученая степень, ученое звание)

Задание принял к исполнению (дата): 20.04.2020


(подпись студента)

РЕФЕРАТ

Бакалаврская работа содержит: 60 стр., 30 рисунков, 1 приложение, 1 таблицу, 11 источников.

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ, СТАРТОВЫЙ КОМПЛЕКС, НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ, ТРАНСПОРТНО-УСТАНОВОЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, КОЭРЦИТИВНАЯ СИЛА.

Выбранный метод контроля состояния транспортно-установочного оборудования РКН «Союз» должен обеспечивать полную информативность о состоянии металлоконструкции, позволяя сделать вывод об увеличении напряжений и повышении аварийности конструкции ТУА при эксплуатации после выработки гарантийного числа циклов работы.

Целью бакалаврской работы является исследование и выбор перспективных методов прогнозирования состояния транспортно-установочного оборудования РКН «Союз».

Исследованы основные методы неразрушающего контроля, позволяющие сделать вывод о состоянии металлоконструкции транспортно-установочного агрегата. Выбран метод магнитного коэрцитивного контроля, основанный на остаточной коэрцитивной силе материала, после возникновений напряжений. Проанализирован рынок структуроскопов, подходящих для данной задачи и выбран структуроскоп-коэрцитиметр КСП-01. Смоделирована и исследована модель метода коэрцитиметрического контроля в ППП Comsol. Смоделирована и исследована модель методов конечно-элементного анализа напряжений в ППП Solidworks. Построена и исследована на нагрузку 3Д модель транспортно-установочного агрегата. Определены критические точки транспортно-установочного агрегата. Определена методика испытаний с использованием коэрцитиметрического

метода контроля. Проведены оценка безопасности и расчет эксплуатационных затрат при использовании метода коэрцитивного контроля при проведении испытаний ТУА.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	6
1 Анализ видов структур и параметров металлоконструкций ТУО	8
1.1 Общие сведения о транспортно-установочном оборудовании	8
1.2 Устройство и принцип работы транспортно-установочного агрегата 373УНЗ4	17
2 Методы контроля состояния и прогнозирования ресурса металлоконструкции транспортно-установочного оборудования	23
2.1 Виды диагностических параметров при техническом диагностировании	23
2.2 Методы определения напряженно-деформированных состояний	25
2.3 Методы испытаний и проверки состояния ТУА РКН «Союз»	26
3 Коэрцитиметрия как основной метод неразрушающего контроля усталости и как приоритетный метод прогнозирования ресурса ТУА	30
3.1 Основные положения	30
3.2 Используемое оборудование	33
3.3 Моделирование метода коэрцитиметрического контроля в ППП Comsol	36
3.4 Моделирование балки и проведение исследования на нагрузку в ППП Solidworks	39
3.5 Применение метода коэрцитиметрического контроля в критических точках ТУА	48
4 Оценка безопасности магнитного коэрцитивного контроля при проведении испытаний ТУА	54
5 Расчет эксплуатационных затрат при использовании метода коэрцитивного контроля при проведении испытаний ТУА	56
Заключение	59
Библиографический список	60
Приложение А	61

ВВЕДЕНИЕ

Транспортно-установочное оборудование (ТУО) используется для транспортировки ракет космического назначения (РКН) на пусковое устройство для последующего запуска или для снятия РКН при несостоявшемся пуске. К конструкции ТУО предъявляются необходимые требования, касающиеся её надёжности, для предотвращения опасных аварийных ситуаций или непредвиденного отказа.

Для проверки металлоконструкции ТУО используются различные методы неразрушающего контроля состояния, которые позволяют оценить состояние металла и соединений в период планового или внепланового технического обслуживания (ТО), а так же прогнозирования ресурса всей системы для возможного продления срока службы агрегата после отработки определённого количества циклов, заложенных в оборудование при его создании.

Целью бакалаврской работы является исследование и выбор перспективных методов неразрушающего контроля для прогнозирования состояния транспортно-установочного оборудования РКН «Союз».

Задачи:

- исследовать и выбрать один из основных методов неразрушающего контроля, позволяющий сделать вывод о состоянии металлоконструкции транспортно-установочного агрегата;
- проанализировать рынок структуроскопов, и найти подходящий для данной задачи;
- смоделировать и исследовать модель метода неразрушающего контроля и конечно-элементного анализа напряжений;
- построить и исследовать на нагрузку 3Д модель транспортно-установочного агрегата;
- определить критические точки транспортно-установочного агрегата имитацию испытаний с использованием метода неразрушающего контроля;

– провести оценку безопасности и расчет эксплуатационных затрат при использовании метода неразрушающего контроля при проведении испытаний ТУА.

1 АНАЛИЗ ВИДОВ СТРУКТУР И ПАРАМЕТРОВ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ТУО

1.1 Общие сведения о транспортно-установочном оборудовании

Основным назначением транспортно-установочного оборудования является транспортировка ракеты с технического комплекса на стартовый комплекс с последующей ее установкой на пусковое устройство (пусковой стол), а также снятие ракеты с пускового устройства и ее транспортировка на технический комплекс в случае несостоявшегося пуска (прекращения боевого дежурства для оборонных ракет). На транспортно-установочное оборудование также могут быть возложены функции монтажно-стыковочного оборудования (например, сборка РКН «Союз» завершается на транспортно-установочном агрегате), средства стыковки коммуникаций (обеспечение присоединения коммуникаций РКН, проходящих по транспортно-установочному оборудованию транзитом, с агрегатами и системами стартового комплекса), средства обслуживания (обеспечение доступа обслуживающего персонала к зонам обслуживания РКН), пускового оборудования (обеспечение устойчивости не заправленной РКН на пусковой установке) и т.п.

Транспортно-установочное оборудование может состоять как из одного агрегата (называемого транспортно-установочным), осуществляющего транспортировку и установку полностью собранной РКН, так и из нескольких агрегатов, разделяющих между собой функции транспортного и установочного оборудования – например, транспортировка РКН с технического комплекса на стартовую позицию осуществляется транспортно-установочной тележкой, а перевод в вертикальное положение РКН (вместе с транспортно-установочной тележкой) осуществляется стационарным подъемно-установочным агрегатом.

Транспортно-установочное оборудование ракет классифицируется по следующим признакам:

- по способу перевода ракеты в вертикальное положение:

- 1) с использованием способа «вывешивания» ракет;
- 2) с использованием способа «опрокидывания» ракет.

– по типу конструкции силового несущего элемента:

- 1) лафетные установщики;
- 2) порталные установщики;
- 3) установщики с подъемно-направляющей стрелой;
- 4) установщики с подъемно-транспортной стрелой.

– по степени подвижности:

- 1) подвижные (колесные, гусеничные, железнодорожные);
- 2) полустационарные;
- 3) стационарные.

Перевод ракет в вертикальное положение способом «вывешивания» может осуществляться мостовыми или стреловыми кранами, стреловыми установщиками-кранами, стреловыми установщиками с захватами.

Схема перевода ракет в вертикальное положение с применением двух мостовых кранов приведена на рисунке 1: ракета доставляется к месту вертикализации на транспортном средстве, после чего осуществляется навешивание грузозахватных средств на ракету и ее подъем, а затем перемещение, перевод в вертикальное положение под действием собственного веса и опускание. По схеме, изображенной на рисунке 2, выполняется перевод в вертикальное положение орбитальных кораблей «Space Shuttle».

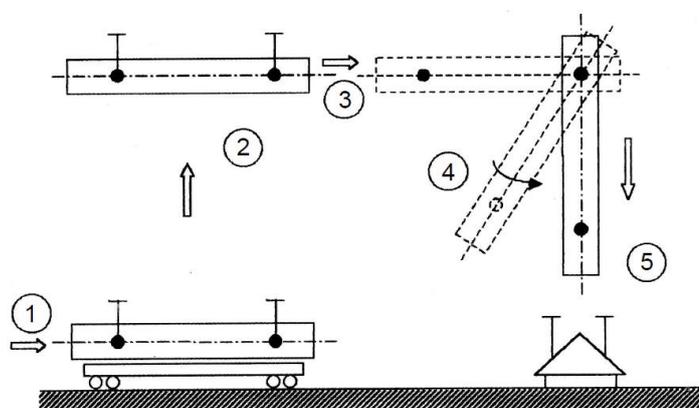


Рисунок 1 – Перевод ракет в вертикальное положение мостовыми кранами

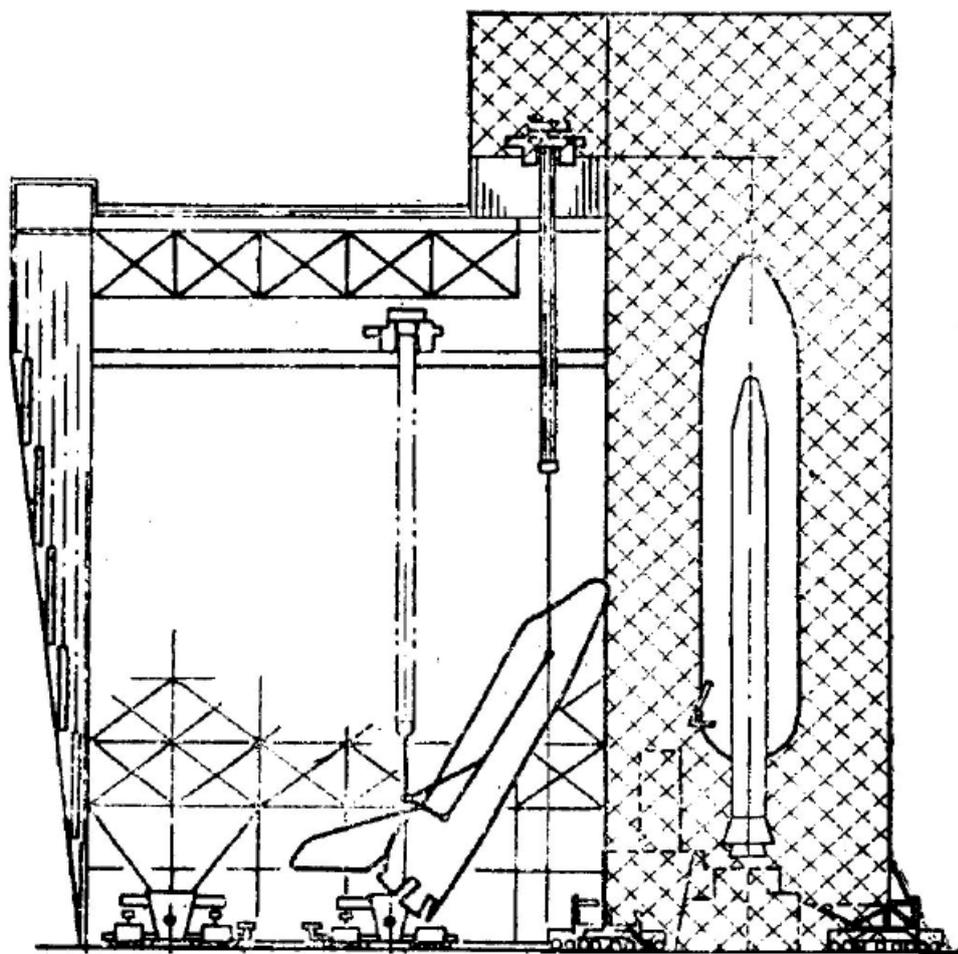


Рисунок 2 – Перевод в вертикальное положение орбитального корабля «Space Shuttle»

Установка ракет в вертикальное положение способом «вывешивания» имеет следующие преимущества:

– универсальность использования оборудования, то есть кроме вертикализации ракеты, оно может быть применено для выполнения других погрузочно-разгрузочных работ;

– в технологическом процессе подготовки ракеты к пуску отсутствует операция по перегрузке ракеты с транспортного средства на установщик;

– простота оборудования, обусловленная использованием силы тяжести (веса ракеты) при переводе ракеты из горизонтального в вертикальное положение.

К числу недостатков установщиков, основанных на способе «вывешивания», относят:

- чрезмерно большой вес установщика, вызванный необходимостью иметь большую грузоподъемность при достаточно больших вылетах стрелы и высоте подъема грузозахватного устройства. При этом вес и габариты установщика резко возрастают не только с увеличением веса ракеты, но и с увеличением длины и диаметра ракеты, а также с возрастанием вылета стрелы;

- большую продолжительность рабочих операций по установке ракет в стартовое положение;

- трудоемкость и значительное число операций, необходимых для установки ракет на пусковой стол или в шахтное сооружение;

- трудность конструктивного выполнения вспомогательного механизма опускания ракеты, используемого в случае выхода из строя механизмов подъема груза и изменения вылета стрелы;

- относительно большие габариты (по длине) в рабочем положении.

Перевод в вертикальное положение ракет с использованием метода «опрокидывания» осуществляется лафетными и порталными установщиками, установщиками с подъемно-направляющей стрелой и установщиками с подъемно-транспортной стрелой.

Для выполнения операции по переводу ракеты в вертикальное положение порталные установщики (другое название – установщики с опорно-мачтовой стрелой) пристыковываются, в соответствии с рисунком 3, к пусковому столу с одной стороны, а транспортер с ракетой – с другой. При подъеме ракеты портал (стрела) установщика служит опорной конструкцией для канатно-полиспастной системы, приводимой в действие грузовой лебедкой. Подъем ракеты осуществляется совместно с рамой транспортной тележки, которая отсоединяется от тягача и переднего колесного хода. После установки ракеты на пусковой стол раму тележки опускают и соединяют с колесным ходом и тягачом.

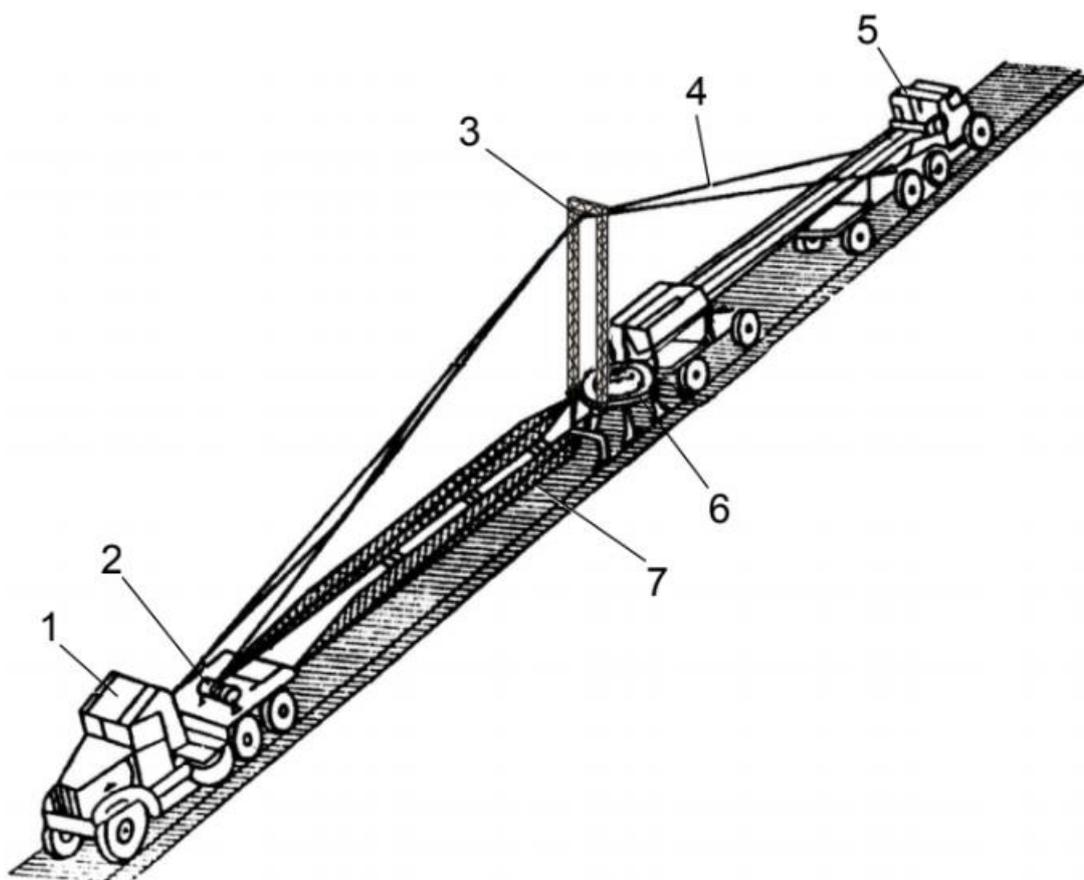


Рисунок 3 – Схема установщика portalного типа

1 – тягач; 2 – лебедка; 3 – портал; 4 – канатно-полиспастная система; 5 – транспортно-установочная тележка с тягачом; 6 – пусковой стол; 7 – рама установщика.

В качестве механизмов подъема в таких установщиках применяют грузовые лебедки с электромеханическим или электрогидравлическим приводом. Установка портала (опорно-мачтовой стрелы) установщика в вертикальное положение и удержание его в этом положении осуществляют обычно гидравлическими домкратами телескопического типа, шарнирно закрепленными одними концами на раме установщика, а другими – на портале (опорно-мачтовой стреле).

К преимуществам установщиков portalного типа относятся:

– возможность производить подъем крупногабаритных и тяжеловесных ракет при сравнительно малых усилиях, действующих на канаты и силовые

элементы грузовой лебедки, за счет обеспечения большой высотой опорно-мачтовой стрелы большого плеча подъема;

– исключение необходимости перегрузки ракеты с транспортной тележки на установщик.

Основными недостатками установщиков порталного типа считаются:

– большой вес установщика, связанный с обеспечением устойчивости при подъеме ракеты (для снижения массы установщика при сохранении его устойчивости рама может крепиться с помощью стяжек к закладным частям стартовой площадки);

– значительное время установки ракет в вертикальное положение;

– значительная длина канатов канатно-полиспастной системы, большие размеры барабанов грузовой лебедки;

– длительные по времени колебания системы при резкой остановке поднимаемой ракеты, что обусловлено большой длиной

– канатов канатно-полиспастной системы и их значительным удлинением под нагрузкой;

– большие габариты установщика в рабочем положении (большая высота опорно-мачтовой стрелы);

– значительное время перевода установщика из походного в рабочее положение;

– сложность конструкции установщика (наличие грузовой лебедки и механизма подъема-опускания опорно-мачтовой стрелы);

– сравнительно невысокая живучесть канатно-полиспастной системы.

Установщики лафетного типа (другое название – установщики с подъемной стрелой) получили большое распространение. Установщик лафетного типа может выполняться самоходным, буксируемым (прицепным или полуприцепным) и стационарным. Перемещаемые установщики лафетного типа выполняют на пневмоколесном, гусеничном или железнодорожном ходу. Схема полуприцепного установщика лафетного типа на пневмоколесном ходу показана на

рисунке 4. Установщик лафетного типа представляет собой агрегат, на раме которого шарнирно закреплена стрела подъема, на которую укладывают ракету. Ракету на стреле крепят обычно в двух местах. В передней части ракету удерживают (в основном, в поперечном направлении) шарнирно раскрывающиеся захваты, они охватывают ракету по образующей и прижимают ее к ложементу передней опоры. Крепление ракеты в задней части исключает ее перемещения как в поперечном, так и в осевом направлениях. Оно может быть выполнено, например, в виде подвесной опоры, на которую ракета опирается ввернутыми в силовой пояс рым-болтами. Подъем ракеты в вертикальное положение осуществляется механизмом подъема стрелы, который, чаще всего, выполняют в виде телескопических гидроцилиндров. По завершении подъема стрелы ракета оказывается вывешенной над пусковой установкой. Операция по передаче веса ракеты на опоры пусковой установки может производиться как механизмами установщика, так и механизмами пусковой установки. Перед пуском ракеты стрела установщика опускается в горизонтальное положение, и установщик отводится от пусковой установки (в случае передвижного установщика).

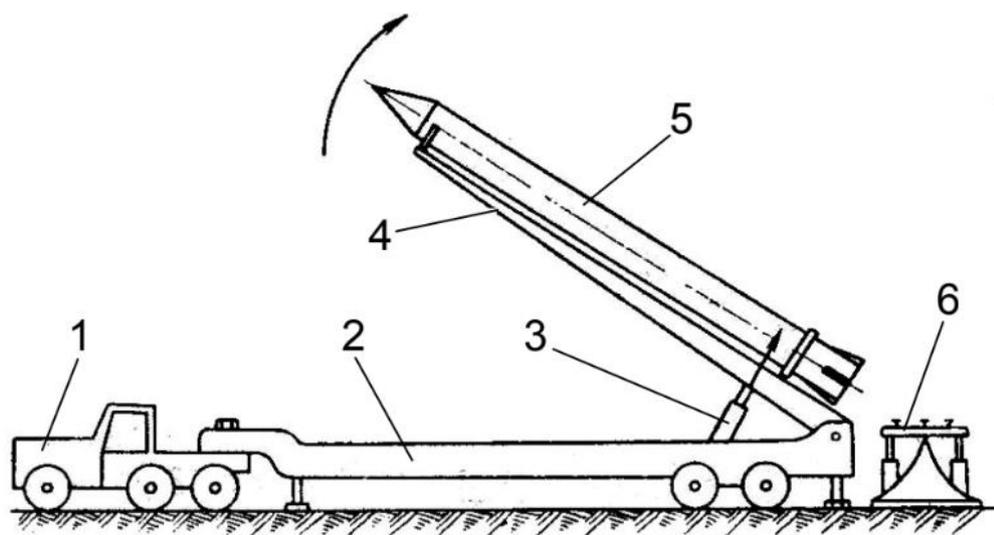


Рисунок 4 – Схема установщика лафетного типа

1 – тягач; 2 – рама установщика; 3 – гидроцилиндры механизма подъема стрелы; 4 – стрела; 5 – ракета; 6 – пусковой стол.

К преимуществам установщиков лафетного типа относятся:

- небольшие габариты установщика по длине, что способствует снижению размеров стартовой площадки;
- компактность механизма подъема стрелы при одновременной возможности развивать большие усилия;
- относительная простота операции по установке ракеты в вертикальное положение;
- широкие возможности по автоматизации операций вертикализации ракеты и передачи ее веса на опоры пусковой установки;
- возможность обеспечения больших скоростей подъема стрелы при одновременной плавности изменения скорости подъема.

К недостаткам установщиков такого типа относятся:

- относительная сложность конструкции;
- ограниченная подвижность, а также проходимость и плавность хода (в случае пневмоколесного хода);
- необходимость мощного привода в механизме подъема стрелы;
- необходимость иметь в составе наземного технологического оборудования кран для перегрузки ракет на установщик.

Установщик с подъемной рамой транспортного средства, изображенный на рисунке 5, представляет собой разновидность полустационарных установщиков лафетного типа. В таких установщиках в качестве стрелы используется рама транспортного средства.

Для установщиков с подъемной рамой транспортного средства справедливы все преимущества, характерные для установщиков с подъемной стрелой. К их числу следует лишь добавить, что, в случае применения установщика с подъемной рамой транспортного средства, перегружать ракету с транспортной тележки на установщик не требуется – рама тележки выполняет функции стрелы установщика.

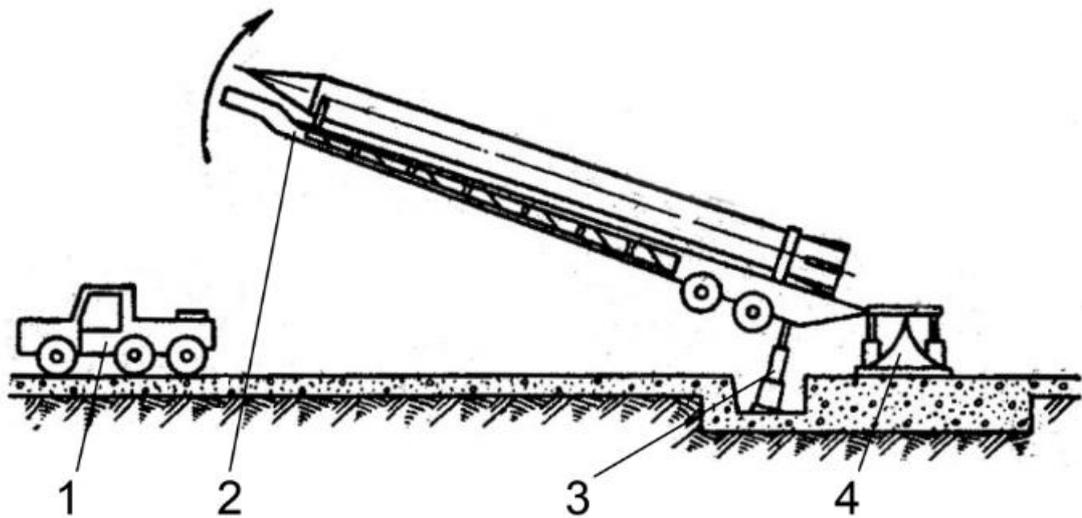


Рисунок 5 – Схема установщика с подъемной рамой транспортного средства
 1 – тягач; 2 – рама транспортной тележки; 3 – гидродъемник; 4 – пусковой стол.

В общем случае перевод ракеты в вертикальное положение способом «опрокидывания» включает в себя следующие операции:

- точная доводка транспортно-установочного оборудования к месту подъема;
- ориентация транспортно-установочного оборудования с последующей фиксацией исходного положения;
- вывешивание рамы транспортного агрегата (рамы транспортно-установочного агрегата) для обеспечения устойчивости агрегата к опрокидыванию в процессе подъема ракеты в вертикальное положение и опускания на пусковую установку;
- подъем стрелы агрегата вместе с РКН до ее вертикального положения;
- ориентация корпуса РКН перед опусканием на пусковую установку;
- передача веса РКН на опоры пусковой установки;
- освобождение узлов крепления РКН на стреле, а также других связей между бортом и стрелой;
- перевод стрелы в горизонтальное (походное) положение;
- отвод рамы со стрелой от пусковой установки.

1.2 Устройство и принцип работы транспортно-установочного агрегата 373УН34

Транспортно-установочный агрегат (ТУА) 373УН34 может эксплуатироваться в любое время года и суток при любых метеорологических условиях, если средняя скорость ветра, замеренная штатным прибором метеослужбы, не превышает 17 м/сек, а температура окружающей среды находится в пределах от минус 40 °С до плюс 40 °С. Зачехленный ТУА разрешается хранить на открытой площадке при любых метеорологических условиях.

ТУА обеспечивает проведение без капитального ремонта в течение 15 лет не менее 300 циклов работы с ракетами космического назначения (РКН) при условии эксплуатации его в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

Цикл работы ТУА с РКН включает в себя погрузку нижней части РКН на ТУА, стыковку верхней и нижней части РКН, транспортирование ТУА с РКН с универсального технического комплекса на стартовый комплекс (СК) и установку РКН на пусковое устройство (ПУ), снятия РКН с ПУ в случае несостоявшейся работы, транспортирование ТУА с РКН от СК на универсальный технический комплекс, отсоединение верхней части РКН и разгрузку нижней части РКН с ТУА.

ТУА представляет собой подъемно-транспортный агрегат на железнодорожном ходу, оборудованный гидроприводом для подъема стрелы с РКН в вертикальное положение и вывешивания ТУА на гидроопорах и электрооборудованием для приведения в действие исполнительных механизмов и контроля за их положением.

ТУА состоит из следующих основных узлов: платформы 4 на тележках (рисунок А.1), стрелы 10 с откидной консолью 1 (рисунок А.2), крыльев 17 (рисунок А.3), нижней и средней опор 1 (рисунок А.1), сменного оборудования 12, механизма подвески 7, двух механизмов доводки 13, гидропривода, состоящей из двух насосных установок 1 (рисунок А.4), блока гидроаппаратуры 2, гидроцилиндра 3, двух гидроопор 37, 45 и электрооборудования 14 (рисунок А.1).

Стрела, насосные установки и гидроцилиндр размещены на платформе ТУА. Нижняя, средняя, верхняя опоры и механизм подвески 7 размещены на стреле ТУА. Средняя опора выполнена подвижной в радиальном направлении, что обеспечивает необходимый для разгрузки корпуса РКН подпор, уменьшающийся до нуля при подъеме стрелы с РКН в вертикальное положение. Нижняя, средняя и верхняя опоры и механизм подвески обеспечивают надежное закрепление РКН на стреле при его транспортировании и установке на ПУ.

Подъем стрелы в вертикальное положение производится гидроцилиндром. Устойчивость ТУА с вертикально поднятой стрелой обеспечивается двумя гидроопорами, установленными на крыльях. Подача рабочей жидкости в гидроцилиндр производится насосными установками 1 (рисунок А.4), по трубопроводам, закрепленным на платформе, стреле и крыльях ТУА. При походном положении ТУА гидроопоры крепятся механизмами подъема гидроопор 14 (рисунок А.5).

Перед подъемом стрелы в вертикальное положение платформа ТУА крепится к кронштейнам 8 (рисунок А.6) на СК двумя механизмами доводки 13 (рисунок А.1), с помощью которых можно перемещать в продольном направлении ТУА, вывешенный на гидроопорах, в пределах ± 50 мм.

Электрооборудование ТУА обеспечивает приведение в действие механизмов, контроль за их положением, освещение рабочих мест и заземление РКН при его транспортировке.

Для размещения электроаппаратуры предусмотрен аппаратный шкаф 4 (рисунок А.7), установленный на боковой балке платформы.

Управление электрооборудованием производится с пульта управления №1 2, расположенного на платформе ТУА, или переносного пульта №2, который пристыковывается к штепсельному разъему на средней опоре ТУА при вертикальном положении стрелы. Стыковка переносного пульта и управление ТУА с него производится с силового пояса ПУ. Хранится переносной пульт в шкафу комплекта ЗИП 18 (рисунок А.3). Электропитание на ТУА от колонки питания осуществляется по гибкому кабелю со штепсельным разъемом.

Перемещение ТУА на СК осуществляется электроприводами самоходных платформы ПлП23-2. В собранном виде ТУА не вписывается в габарит 1Т, поэтому при необходимости транспортировать ТУА по путям РЖД он разбирается на транспортные места.

ТУА укомплектован грузовым макетом, комплектом ЗИП и полным комплектом документации. Для размещения комплекта ЗИП на ТУА предусмотрен инструментальный шкаф, закрепленный на боковой балке платформы.

Для хранения ТУА в период эксплуатации и размещения сменного оборудования на объекте предусмотрена специальная технологическая площадка, оборудованная колонкой питания, грозозащитным контуром заземления и смотровой канавой для проведения регламентных работ с самоходными тележками ТУА.

В монтажно-испытательном корпусе (МИК) производится погрузка нижней части РКН на ТУА, стыковка верхней и нижней частей РКН мостовыми кранами и закрепление РКН механизмом подвески, нижней и верхней опорами. ТУА с РКН транспортируется тепловозом с платформами прикрытия из МИК на СК. На расстоянии от 11 до 12 м от опорного кольца ПУ транспортирование ТУА тепловозом прекращается, тепловоз с платформами прикрытия отцепляется от ТУА и эвакуируется с СК. Производится подключение кабеля к колонке питания.

Дальнейшее движение ТУА производится самоходными тележками. В тот момент, когда гидроопоры будут находиться над роликами 10 (рисунок А.6) оборудования площадки, производится остановка ТУА и опускание гидроопор механизмами на ролики. При дальнейшем движении ТУА гидроопоры поворачиваются вниз и занимают вертикальное положение.

В тот момент, когда гидроопоры будут находиться над опорными тарелками ПУ, ТУА останавливается. Производится выдвижение гидроопор до упора в тарели, закрепление ТУА механизмами доводки и вывешивание ТУА на гидроопорах.

После вывешивания ТУА на гидроопорах производится подъем стрелы с РКН в вертикальное положение и установка РКН на ПУ.

При установке РКН на ПУ производится корректировка его положения относительно верхнего силового пояса ПУ. Продольное перемещение ТУА с РКН производится механизмами доводки, наклон РКН в продольном направлении – гидроцилиндром, а наклон РКН в поперечном направлении, подъем и опускание ТУА с РКН – гидроопорами.

Корректировка положения РКН относительно ПУ, за исключением продольных перемещений механизмами доводки, осуществляется с силового пояса ПУ с помощью переносного пульта.

После установки РКН на ПУ разводятся рычаги захвата верхней опоры, производится расфиксация консоли относительно основания стрелы и серьги механизма подвески отсоединяются, от РКН. Производится опускание стрелы до угла 15° , опускание ТУА на гидроопорах, отсоединение механизмов доводки от кронштейнов 8 (рисунок А.6) и закрепление их по походному. Затем ТУА на самоходных тележках отъезжает от ПУ до тех пор, пока гидроопоры, упираясь в ролики, не займут горизонтальное положение. ТУА останавливается и производится закрепление гидроопор механизмами подъема гидроопор в походном положении.

При дальнейшем движении ТУА консоль стрелы, упираясь в ролики 12, 17, поворачивается вокруг своего шарнира и совмещается с основанием стрелы 10 (рисунок А.1). Производится остановка ТУА, запираение консоли относительно основания стрелы откидными замками, опускание стрелы в горизонтальное положение и сведение рычагов захвата 4 (рисунок А.8) верхней опоры.

ТУА отключается от колонки питания и эвакуируется тепловозом с платформами прикрытия с СК на технологическую площадку.

При снятии РКН с ПУ ТУА подается тепловозом на СК. Производится подключение ТУА к колонке питания и разведение рычагов захвата верхней опоры. ТУА на самоходных тележках подается к ПУ. В тот момент, когда консоль будет

находиться над роликами 12, 17 (рисунок А.6), производится остановка ТУА, подъем стрелы до 18° , отъезд ТУА назад до касания консоли роликов 12, 17 и открывание замков консоли. При дальнейшем движении ТУА вперед на самоходных тележках консоль, поворачиваясь вниз вокруг своего шарнира, проходит между РКН и опорным кольцом. В тот момент, когда гидроопоры будут находиться над роликами направляющих 10, 18, производится вторая остановка ТУА, гидроопоры опускаются механизмами 14 (рисунок А.5) на ролики 10,18 (рисунок А.6) и механизмы 14 (рисунок А.5) отсоединяются от гидроопор.

После наезда ТУА на опорное кольцо производится закрепление ТУА механизмами доводки, вывешивание ТУА на гидроопорах и подъем стрелы до угла 88° .

Затем переносной пульт пристыковывается к разъему на средней опоре и управление ТУА передается на переносной пульт. Стрела поднимается в вертикальное положение и производится корректировка ее положения относительно РКН. Затем консоль запирается замками, серьги механизма подвески закрепляются на РКН и производится натяжение штанг механизма подвески стяжными муфтами.

Управление ТУА передается на основной пульт, а переносной пульт отстыковывается от разъема на средней опоре и убирается в инструментальный шкаф.

Сводятся рычаги захвата верхней опоры и вес РКН передается ПУ на ТУА. После разведения ферм ПУ стрела ТУА с РКН опускается в горизонтальное положение, ТУА опускается на гидроопорах, механизмы доводки отсоединяются от кронштейнов на стартовой позиции и крепятся по походному.

ТУА отъезжает на самоходных тележках от ПУ, при этом гидроопоры, упираясь в ролики 10, поворачиваются до горизонтального положения, после чего закрепляются механизмами подъема гидроопор.

ТУА с РКН отключается от колонки питания и транспортируется тепловозом в МИК для разгрузки РКН.

Исходя из анализа видов транспортно-установочного оборудования, наиболее универсальным и надёжным является установщик лафетного типа. Данный вид установщиков может быть подвижным, стационарным и полустационарным, способен сочетать в себе относительно не большие размеры и развивать достаточно большие усилия, а также обеспечивает надёжность подъёма РКН в вертикальное положение с относительно большой скоростью.

2 МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕСУРСА МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ ТРАНСПОРТНО-УСТАНОВОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

2.1 Виды диагностических параметров при техническом диагностировании

Неразрушающий контроль (НК) является одним из важных элементов обеспечения безопасности технических устройств и сооружений при строительстве и эксплуатации потенциально опасных объектов. Незарушающий контроль позволяет получить данные о скоростях деградации параметров, определяющих состояние технических устройств и сооружений, а также обеспечить своевременность и качество выполнения работ по их обслуживанию и ремонту. Повышение уровня безопасности достигается за счет достоверности, воспроизводимости, сопоставимости результатов НК.

При создании методов контроля сложных технических систем одним из важных элементов является применение системного подхода, который должен предусматривать комплексное решение вопросов неразрушающего контроля и диагностирования для всех стадий жизни оборудования, создание системы сбора и обмена диагностической информацией между конструкторскими бюро, заводами и организациями, эксплуатирующими и ремонтирующими сложные технические системы. Только при этом условии можно обеспечить высокую надежность систем, достаточную глубину и достоверность технического диагностирования.

К числу параметров, наиболее важных для обеспечения безопасности технологического оборудования, относятся: параметры движения, вибрации, точностные, тепловые, электрические, усилия, моменты, давления, затрачиваемая мощность, напряжения в несущих конструкциях, параметры излучений, радиации. При выборе параметров важно учитывать помехозащищенность и обеспечение достаточной точности. Дополнительно определяются параметры,

характеризующие химический состав воздуха, рабочих сред, отходов, напряжения и деформации зданий и сооружений.

Формализованные методы выбора совокупности диагностических параметров (ДП) предусматривают построение и анализ математических моделей объекта диагностирования (ОД) и моделей его возможных дефектов. Эти модели позволяют в первую очередь установить взаимосвязь между состояниями системы, условиями и режимами ее работы, входными сигналами и параметрами выходных сигналов. Таким образом, формулируется задача синтеза диагностической модели.

Основу логической процедуры диагноза составляет совокупность физических величин, с помощью которых при измерении определяются структурные параметры диагностирования объектов. Число физических величин ограничено и не превышает 200.

Наибольший практический интерес представляют параметры назначения и надежности объектов, находящиеся в функциональной зависимости от измеряемых физических величин.

Измерение физических параметров положено в основу различных методов и средств технического диагностирования, с помощью которых анализируют и оценивают сложное техническое состояние объекта.

Общими тенденциями совершенствования НК и диагностики являются: интеллектуализация, многофункциональность, микроминиатюризация средств, улучшение технологии контроля и диагностирования, обеспечение необходимых метрологических характеристик аппаратуры.

Широкое распространение при технической диагностике получают такие методы неразрушающего контроля, как: радиационный, рентгеновский, гамма-контроль, акустический, ультразвуковая дефектоскопия, ультразвуковая толщинометрия, акустическая эмиссия, магнитный, магнитопорошковый, магнитографический, проникающими веществами, капиллярный, течеискания,

вихретоковый, вихретоковая диффектоскопия, вихретоковая толщинометрия с элементами автоматизированного анализа полученных результатов.

Перспективно применение комплексных методов неразрушающего контроля, разрушающего контроля образцов, различных видов диагностики: по параметрам движения (квалиметрические методы), силовым, тепловым, виброакустическим параметрам. Важным этапом разработки технологии диагностирования является правильный выбор диагностических параметров (их номенклатуры и числа) и методов обработки сигналов, обеспечивающих необходимые метрологические характеристики и надежность постановки диагноза.

2.2 Методы определения напряженно-деформированных состояний

Для определения напряженно-деформированных состояний используются унифицированные и специальные методы¹:

- толщинометрии (механические, оптические, ультразвуковые);
- тензометрии (тензорезисторы, тензочувствительные покрытия, голография, интерферометрия);
- термометрии (термопары, термосопротивления, термовидение, пирометры, термокраски);
- виброметрии (акселерометры, механические, оптические, электромеханические, лазерные, ультразвуковые виброметры).

Для определения состояния дефектов используются стандартные, унифицированные и специальные методы дефектоскопии и дефектометрии:

- визуальные и оптические;
- ультразвуковые;
- рентгеновские и бетатронные;
- магнитные и магнитопорошковые;
- люминесцентные и жидкостные;
- акустические;
- акустоэмиссионные;

¹ Махутов, Н. А. Диагностика и мониторинг состояния сложных технических систем. Тюмень, 2017.

- термовизионные;
- голографические;
- электрофизические.

2.3 Методы испытаний и проверки состояния ТУА РКН «Союз»

При освидетельствовании, ТУА испытывается 3 методами – двумя статическими и одним динамическим².

Испытания проводятся в следующей последовательности:

1) Статические испытания ТУА на тележках при горизонтальном положении стрелы (вариант 1).

Для проведения статических испытаний ТУА на тележках при горизонтальном положении стрелы необходимо:

- установить на ТУА фермы грузового макета в соответствии с инструкцией на погрузку (разгрузку) грузового макета на ТУА;

- загрузить фермы грузами по варианту 1 (рисунки А.9, А.10);

- подвесить отвес к консоли в точке "б" (рисунки А.9, А.10);

- измерить через 5 мин расстояние "h1" от грузика до земли (погрешность первого замера не более 3 мм).

- еще через 10 мин вновь измерить расстояние "h". При повторном замере "h" может отличаться от первоначального не более чем на 6 мм (сумма максимально допустимых погрешностей двух измерений). Если расстояние "h" отличается на большую величину, делается вывод о текучести металлоконструкции. В этом случае испытания прекращаются и эксплуатация ТУА запрещается;

- снять отвес;

- осмотреть стрелу, платформу, нижнюю, среднюю, верхнюю опоры.

Никаких повреждений не должно быть.

2) Статические испытания ТУА на тележках при поднятом положении стрелы (вариант 2).

² Инструкция по техническому обслуживанию. 2014.

Для проведения статических испытаний ТУА на тележках при приподнятом положении стрелы необходимо:

- подвесить отвес на стреле в точке "а" (Рисунок А.9, А.10);
- загрузить фермы грузами по варианту 2 (рисунок А.9, А.10), руководствуясь инструкцией на погрузку (разгрузку) грузового макета на ТУА;
- поднять стрелу на высоту от 400 мм до 450 мм от опорной поверхности упоров на платформу;
- измерить расстояние "h" от грузика до земли (погрешность первого замера не более 3 мм);
- еще через 10 мин вновь измерить расстояние "h" (погрешность второго замера не более 3 мм). Расстояние "h" при повторном замере может отличаться от первоначального не более, чем на 6 мм (сумма максимально допустимых погрешностей двух измерений). Если расстояние "h" отличается на большую величину, делается вывод о наличии текучести металлоконструкции. В этом случае испытания прекращаются и эксплуатация ТУА запрещается;
- опустить стрелу на платформу и снять отвес;
- осмотреть стрелу, платформу, нижнюю, среднюю, верхнюю опоры. Никаких повреждений не должно быть.

3) Динамические испытания ТУА (вариант 3)

Для проведения динамических испытаний ТУА необходимо:

- загрузить фермы грузами по варианту 3 (рисунок А.9, А.10);
- транспортировать ТУА тепловозом со скоростью до 10 км/ч с проведением от двух до трех торможений;
- передвинуть ТУА вперед и назад самоходом на большой скорости на расстояние 20 м в каждую сторону. Операции по передвижению ТУА вперед и назад выполнить три раза;
- передвинуть ТУА вперед и назад самоходом на малой скорости на расстояние 1 м в каждую сторону. Операции по передвижению ТУА вперед и назад выполнить три раза;

- вывинтить штыри из нижней опоры макета;
- расфиксировать ложементы нижней опоры и ослабить крепление траверс

19 (рисунок А.11);

- подъехать самоходом к сооружению;
- установить механизмы доводки;
- выставить ТУА на гидроопорах;
- поднять стрелу в вертикальное положение;
- опустить стрелу в горизонтальное положение.

Операции по подъему и опусканию стрелы выполнить три раза. В процессе подъема и опускания произвести по три остановки стрелы в промежуточных положениях;

- поднять стрелу в вертикальное положение;
- опустить ТУА на левой гидроопоре до автоматической остановки;
- опустить ТУА на правой гидроопоре до автоматической остановки;
- поднять ТУА на левой гидроопоре до автоматической остановки;
- поднять ТУА на правой гидроопоре до автоматической остановки.

Операции по подъему и опусканию ТУА на гидроопорах выполнить три раза. В процессе подъема и опускания ТУА на гидроопорах произвести по три остановки ТУА в промежуточных положениях:

- опустить стрелу в горизонтальное положение;
- убрать гидроопоры;
- отсоединить механизмы доводки;

– отъехать транспортно-установочным агрегатом от сооружения;

– осмотреть верхнюю, среднюю и нижнюю опоры ТУА, стрелу, платформу с тележками, гидроцилиндр, крылья, механизм подвески; гидроопоры. После испытаний не должно быть никаких повреждений.

– Примечание – Для исключения перегрева масла в гидроприводе, необходимо после каждого цикла подъема – опускания стрелы делать перерыв 1 ч, а после циклов подъема – опускания на гидроопорах делать перерыв 0,5 ч.

После испытаний необходимо:

- установить лестницы к нижней опоре;
- зафиксировать макет штырями 20 (рисунок А.11) и зафиксировать положение траверс 19;
- снять лестницы нижней опоры и закрепить их по походному;
- подать ТУА на технологическую площадку;
- снять грузовой макет;
- выключить напряжение;
- уложить фермы грузового макета на подставки (Рисунки А.12, А.13, А.14, А.15);
- законсервировать грузовой макет.

Плюсом данных методов является относительная простота при подготовке к испытанию и лёгкая оценка состояния по полученным данным. Минусами являются недостаточная точность съема данных в связи с недостаточной точностью и высокой погрешностью, а так же недостаток информации о состоянии отдельных узлов и агрегатов, воспринимающих нагрузку.

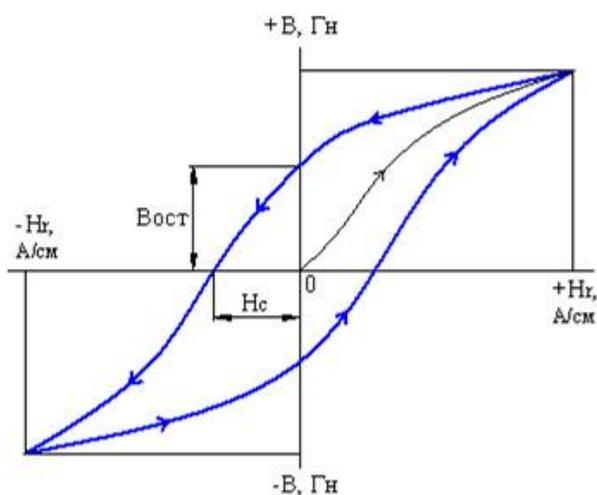
3 КОЭРЦИТИМЕТРИЯ КАК ОСНОВНОЙ МЕТОД НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ УСТАЛОСТИ И КАК ПРИОРИТЕТНЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РЕСУРСА ТУА

3.1 Основные положения

При эксплуатации ТУО, существует возможность продления срока эксплуатации при освидетельствовании оборудования, так как в каждое изделие закладывается запас надёжности, который рассчитывается теоретически и может быть не совсем точный. Это может положительно сказаться на бюджете организации и уменьшить время простоя при демонтаже старого оборудования и установке нового. Для этого необходимо прогнозирование износа оборудования с помощью методов неразрушающего контроля.

В качестве одного из направлений решения этой проблемы получила распространение практика магнитной диагностики металлоконструкций подъёмных сооружений на основе измерения магнитной характеристики металла – коэрцитивной силы (H_C). В основу данного метода неразрушающего контроля положены корреляционные зависимости между механическими свойствами металла и одним из основных физических параметров петли магнитного гистерезиса – коэрцитивной силой, H_C (А/см), как наиболее чувствительной к изменению плотности дислокаций структуры стали.

Прирост величины коэрцитивной силы при появлении напряжений в металле относительно исходного состояния поставки H_C^0 и до состояния разрушения H_C^B составляет 100–400 % в зависимости от марки металла. Такой информационной чувствительности к процессам деградации металла пока не выявлено ни у какого иного параметра неразрушающего контроля. Если металл при нагружении испытал хотя бы однократное воздействие нагрузки, превышающей значение предела текучести $G_{0,2}$, при последующем измерении первоначальное значение уже никогда не вернется к исходному значению H_C^0 , т.к. в этой области металл переходит из области упругих (обратимых) деформаций в упругопластическую область диаграммы нагружения.

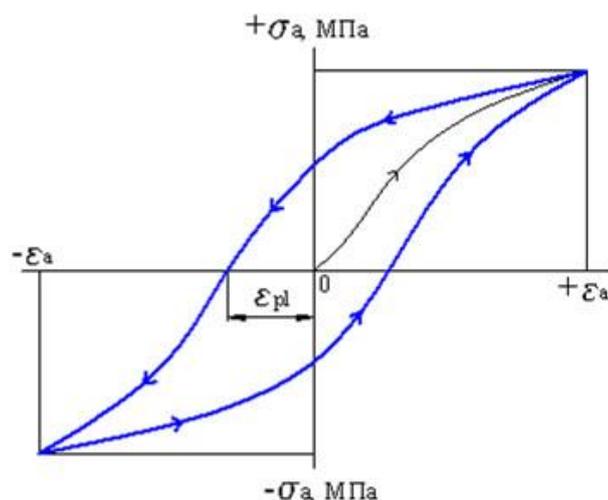


а) Магнитная петля гистерезиса

H_c - коэрцитивная сила, А/см

$B_{ост}$ - остаточная индукция, Гн

K - циклический коэффициент
напряжения



б) Деформационная петля гистерезиса

ϵ_{pl} - остаточная деформация

σ_a - амплитуда нагружений, МПа

n - циклический коэффициент
упрочнения

Рисунок 6 – Петли гистерезиса

Значения H_C^0 , H_C^T и H_C^B являются такими же характерными значениями для каждой марки металла, как и механические характеристики $G_{0.2}$ и G_B , а отношение прироста значений ΔH_C к рассматриваемому интервалу времени (ΔT) определяет скорость накопления повреждений в структуре металла от возникающих напряжений, которая может быть описана линейной зависимостью типа:

$$\frac{\Delta H}{\Delta T} = C \cdot \Delta G^n, \quad (1)$$

где G – внутренние напряжения,

C и n – свойства стали.

В результате исследований для традиционных малоуглеродистых и низколегированных сталей (при толщине проката 5 – 15 мм) были обобщены базовые

(усреднённые) параметры контроля за состоянием металла по величине коэрцитивной силы:

– H_C^0 – исходное значение коэрцитивной силы;

– H_C^T – соответствует уровню напряжений, равных физическому пределу текучести стали G_T ($G_{0,2}$);

– H_C^B – соответствует пределу выносливости при малоциклового усталости при пульсирующем цикле нагружения.

Нормативной базой магнитного (коэрцитиметрического) контроля являются межгосударственный стандарт ГОСТ 30415-96.

Первичные значения коэрцитивной силы H_C^0 , так же, как и механические свойства, зависят от многих факторов: химического состава стали, величины зерна, наличия структурной неоднородности, состояния поставки металлопроката (горячекатаный или холоднокатаный прокат, в отожжённом или нормализованном состоянии). В методических указаниях допускается разброс значений H_C^0 , например, для малоуглеродистых сталей Ст3 – 2,3-3,2 А/см, для стали 09Г2С – 2,5-3,5 А/см, хотя, исходя из практического опыта, разброс значений H_C^0 несколько шире.

Согласно принципу неопределённости, средние значения коэрцитивной силы не могут однозначно характеризовать как накопление повреждений, так и остаточный ресурс конструкции в целом. Это связано с тем, что различные расчётные элементы нагружаются по-разному и не обладают одинаковой жёсткостью и прочностью. В то же время контроль величины H_C по «слабому звену», т.е. по максимальным значениям H_C и скорости их роста, имеет близкую к линейной зависимость накопления повреждений и может с вероятностью 0,95 характеризовать напряжённо-деформированное состояние металла в зависимости от срока эксплуатации и режима нагружения.

Данный метод возможно использовать для ТУА «Союз», предварительно вычислив самый нагруженный элемент системы и замерив изначальную коэрцитивную силу, а также создать паспорт магнитного контроля для отдельных

элементов конструкции, с целью слежения за изменением коэрцитивной силы и предотвращения аварийных ситуаций.

3.2 Используемое оборудование

На производстве для магнитной структуроскопии уже много десятилетий широко и успешно применяется метод, основанный на измерении коэрцитивной силы H_C металла в точке контроля. Приборы, реализующие этот способ контроля, обычно называют коэрцитиметры. Однако, название коэрцитиметр для них не совсем корректно, так как выходной сигнал этих приборов хотя и пропорционален коэрцитивной силе материала, но зависит еще и от геометрических факторов. Поэтому в настоящее время подобные приборы все чаще называют структуроскопами. Принцип работы таких приборов состоит в исполнении следующей последовательности операций:

- намагничивание контролируемого участка детали накладным преобразователем;
- последующее размагничивание этого участка нарастающим полем;
- фиксации напряженности поля, соответствующей коэрцитивной силе.

Магнитные структуроскопы позволяют решать различные задачи неразрушающего контроля. Среди них контроль режимов термообработки (контроль твердости), контроль глубины закалки поверхностного слоя, в ряде случаев сортировка материалов по маркам сплавов, прогнозирование остаточного ресурса объектов ответственного назначения (конструкции подъемных механизмов, сосуды высокого давления, магистральные трубопроводы) и т. д.

Специфика большинства объектов требует от контрольной аппаратуры наличия независимого источника электроэнергии. В самом деле, трудно лазить по высоким конструкциям и тянуть за собой шнур питания от электросети. Поэтому еще в 90-е годы прошлого века проводились работы по созданию портативного магнитного структуроскопа с автономным питанием. К настоящему времени наибольшее распространение из таких приборов получил структуроскоп КРМ-Ц-К2М. При всех достоинствах данного прибора ему присущ и ряд

недостатков и ограничений возможностей, связанных с использованием аналоговой схемотехники.



Рисунок 7 – Структуроскоп КРМ-Ц-К2М

Наиболее подходящим магнитным структуроскопом для магнитного контроля ТУА является структуроскоп КСП-01. Структуроскоп КСП-01 внесен в Государственный реестр средств измерений под номером 61774-15 и допущен к применению в Российской Федерации.

Таблица 1 – Основные характеристики коэрцитиметра КСП-01

Диапазон измерений, А/м	0 ÷ 6000
Относительная погрешность, %	≤5
Глубина промагничивания, мм	6
Длительность цикла измерений, с	2
Размеры полюсов датчика, мм	12x28
Тип внутреннего источника питания	Li-Po
Время работы от внутреннего источника питания, ч	8

Степень защиты от внешних воздействий	IP65
Температура окружающей среды, °С	-40 ÷ +85
Масса, кг	1

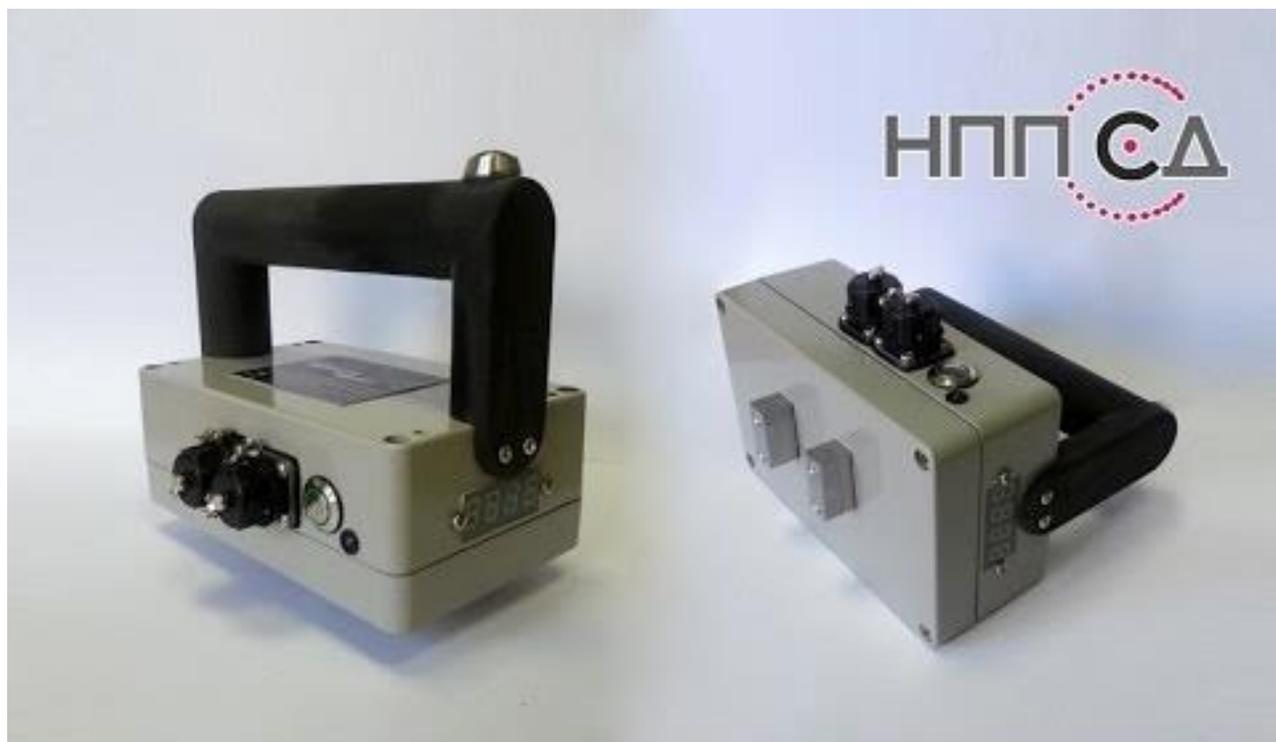


Рисунок 8 – Структуроскоп КСП-01

Проанализировав рынок магнитных структуроскопов, коэрцитиметр КСП-01 является лучшим для выполнения магнитного контроля ТУА, а именно:

- лучший диапазон измерений с минимально возможной погрешностью измерений;
- хорошая глубина промагничивания и небольшое время длительности измерения;
- литий-полимерный источник питания, имеющий большое количество циклов заряда-разряда без деградации аккумулятора;
- хорошее время автономной работы;
- высокая степень защиты от пыли и воды;

- лучший диапазон рабочих температур;
- небольшой вес устройства;
- небольшие размеры устройства;
- интерфейсы связи RS-232, RS-485, Bluetooth;
- наличие ПО для Android и MS Windows;
- наличие семисегментных индикаторов взамен TFT экрана, который при воздействии низких и высоких температур темнеет и становится нечитаемым;
- сменные наконечники датчиков, позволяющие проводить измерения плоских и сферических поверхностей.

Минусами данного устройства является:

- высокая цена;
- отсутствие внутренней памяти устройства.

3.3 Моделирование метода коэрцитиметрического контроля в ППП COMSOL

Для проверки работоспособности метода, необходимо создать модель листа 10ХСНД с габаритами $10000 \times 1000 \times 12$. Далее проводится замер коэрцитивной силы (петли гистерезиса) в точке 1.

При закреплённом торце листа, к верхней плоскости прикладывается сила 1000 ньютонов, с помощью которой достигается упругопластическая область диаграммы нагружения. Так как материал испытал однократное воздействие нагрузки, превышающей значение предела текучести, коэрцитивная сила материала в точке изгиба увеличилась в связи с накоплением внутренних напряжений. При повторном замере коэрцитивной силы петля гистерезиса увеличилась и по сравнению с предыдущими результатами, ΔH_C составила 98 А/м. При дальнейших нагружениях, до потери целостности структуры, величина коэрцитивной силы, по сравнению с начальным значением увеличилась на 44 процента а ΔH_C составила 171 А/м.

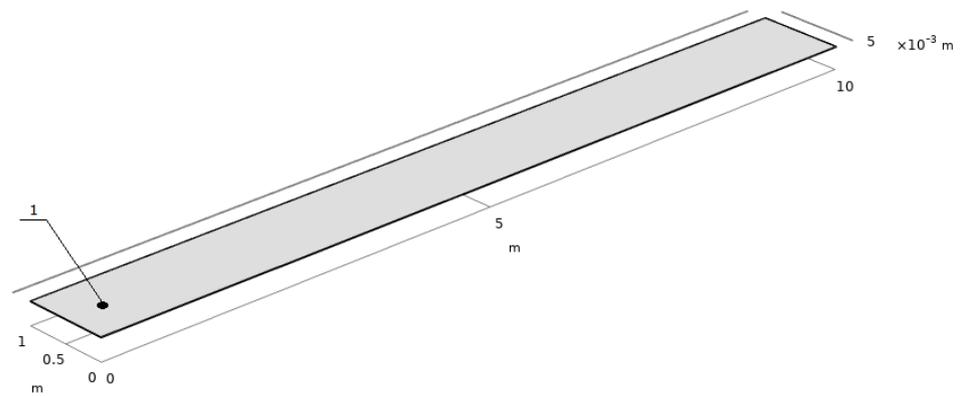


Рисунок 9 – Лист 10ХСНД с точкой замера

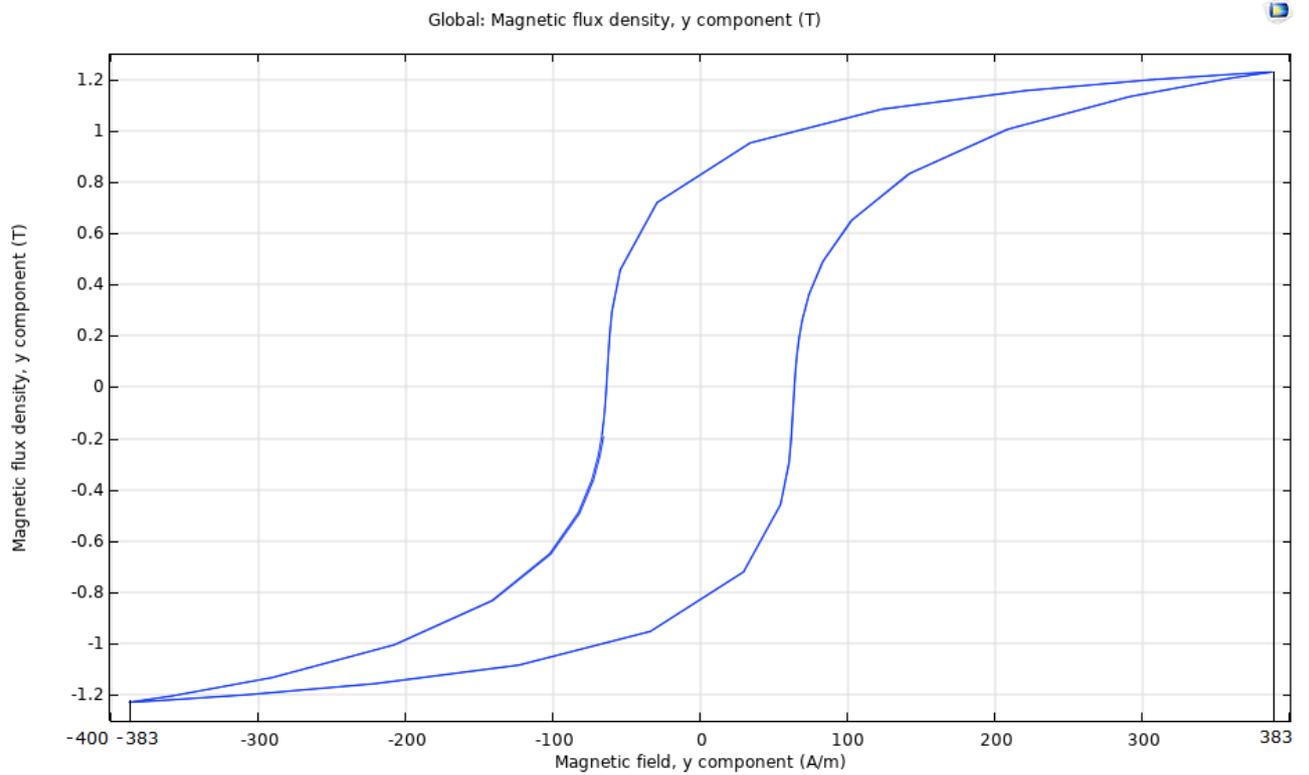


Рисунок 10 – Петля гистерезиса до приложения нагрузки

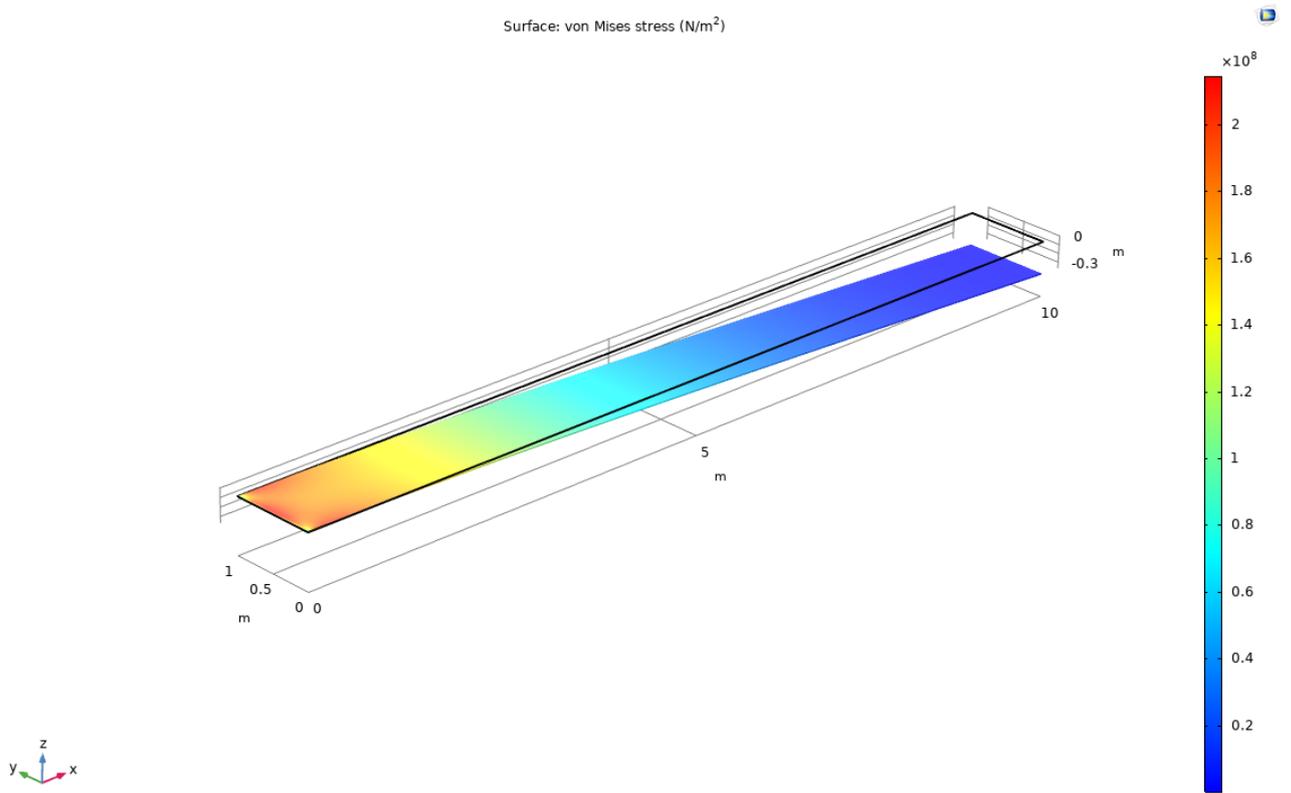


Рисунок 11 – Лист 10ХСНД после приложения нагрузки

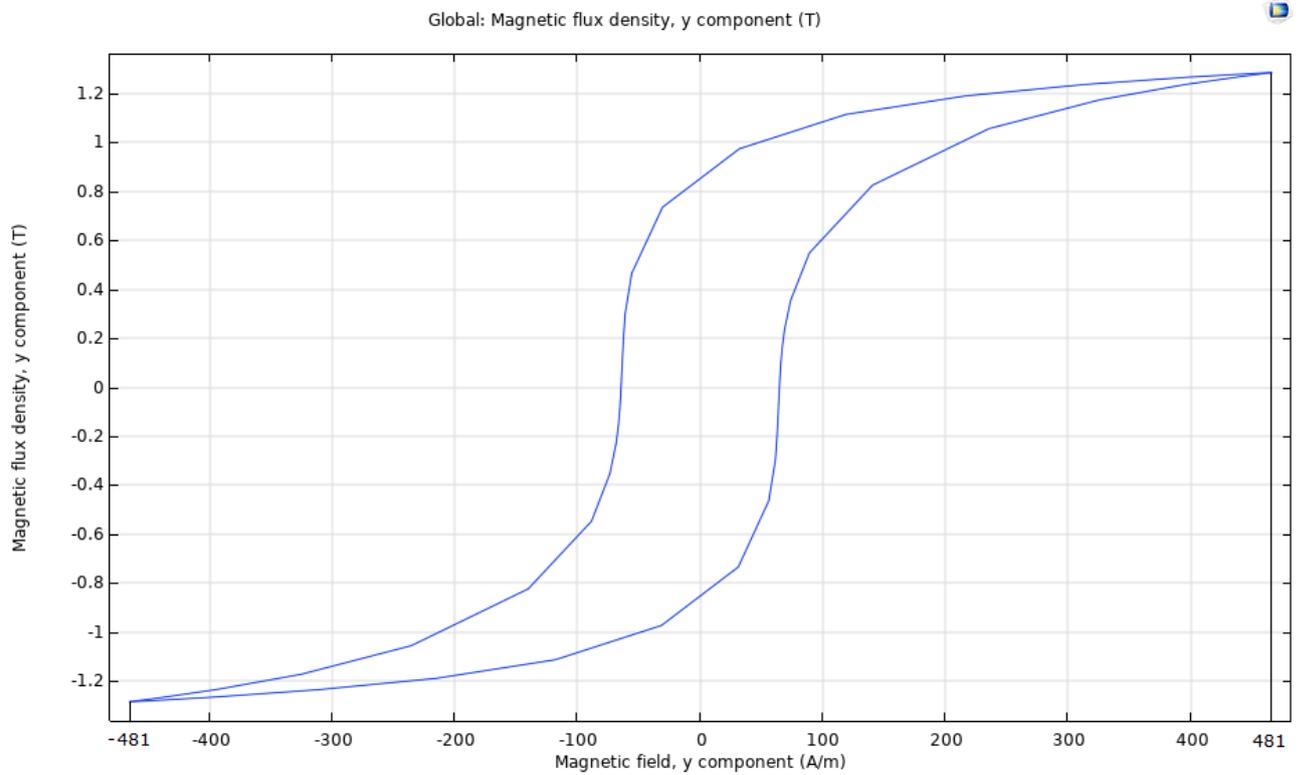


Рисунок 12 – Петля гистерезиса после приложения нагрузки

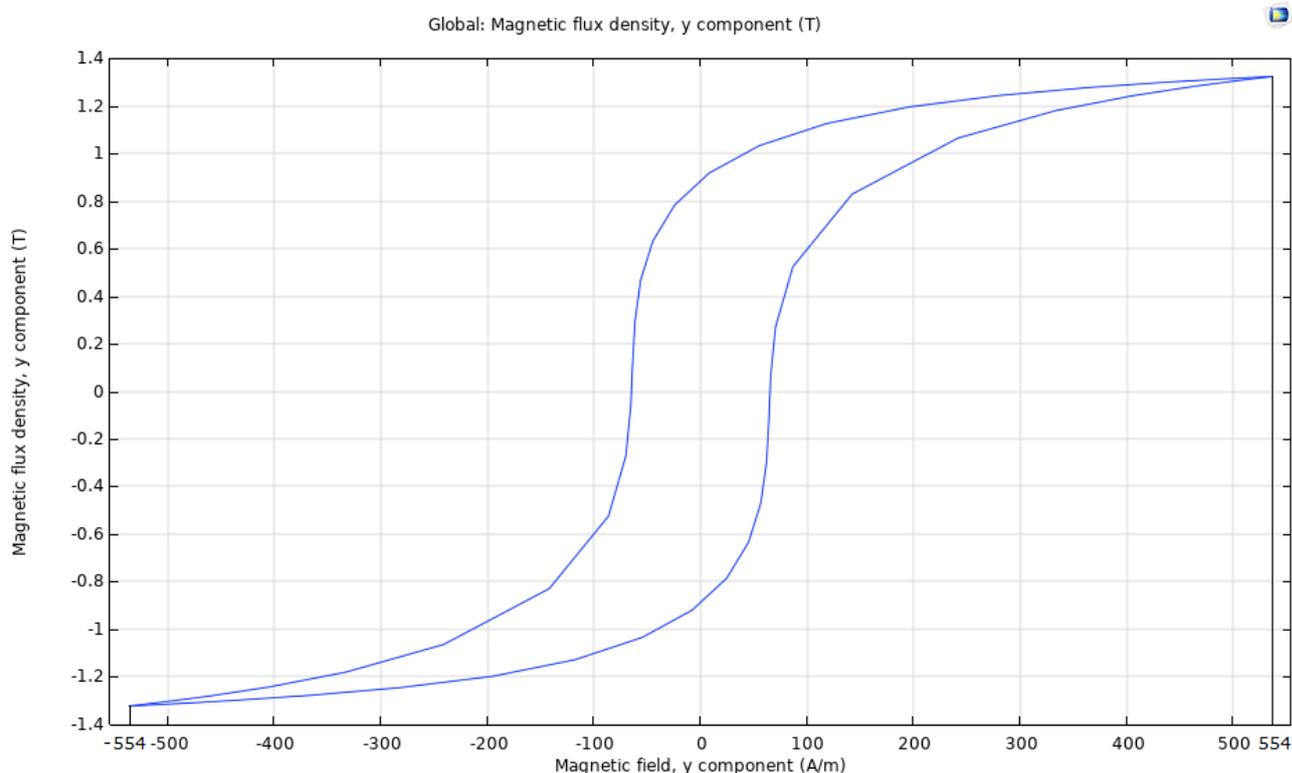


Рисунок 13 – Петля гистерезиса перед разрушением листа

Исходя из полученных данных, можно сделать вывод о полной работоспособности метода коэрцитиметрического контроля.

3.4 Моделирование балки и проведение исследования на нагрузку в ППП Solidworks

Чтобы получить информацию о критических точках транспортно-установочного агрегата, необходимо создать 3Д модель и провести статический анализ нагрузки в ППП Solidworks.

Для проверки данного метода моделирования и проведения симуляции нагрузки необходимо:

- спроектировать балку 1000x100x100 мм;
- запустить модуль Solidworks Simulation;
- применить материал;
- применить граничное условие закрепления балки;
- применить граничное условие внешних нагрузок на балку;
- создать сетку;

- задать автоматический выбор решающей программы;
- запустить исследование.

В первую очередь при моделировании твердого тела, необходимо построить эскиз будущей 3Д модели. Эскиз создаётся из линий или заранее заготовленных шаблонов, например «Прямоугольник». После создания линий, нужно задать размеры с помощью команды «Автоматическое нанесение размеров». Данная команда позволяет вручную задавать размер и позволяет более наглядно оценить размер линии независимо от масштаба.

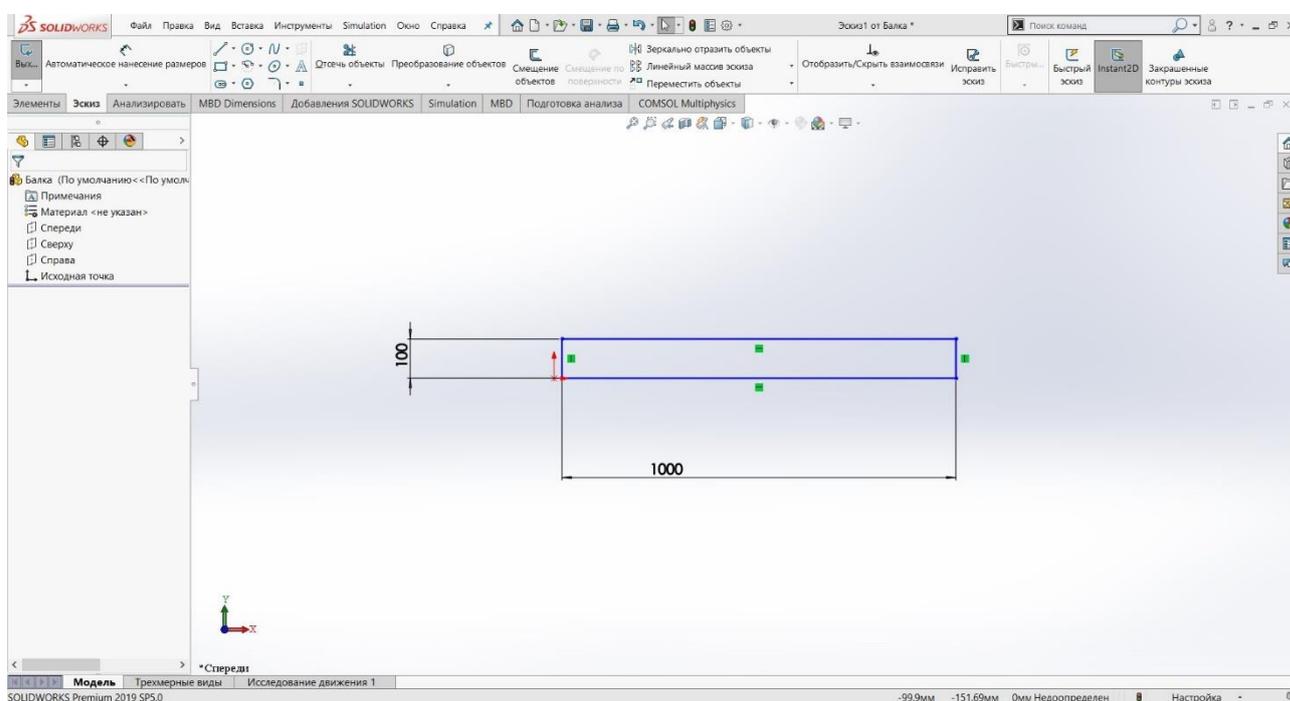


Рисунок 14 – Эскиз балки

Далее с помощью команды «Вытянутая бобышка/основание» создаётся 3Д модель балки. При использовании данной команды можно выбрать необходимое направление вытягивания и расстояние.

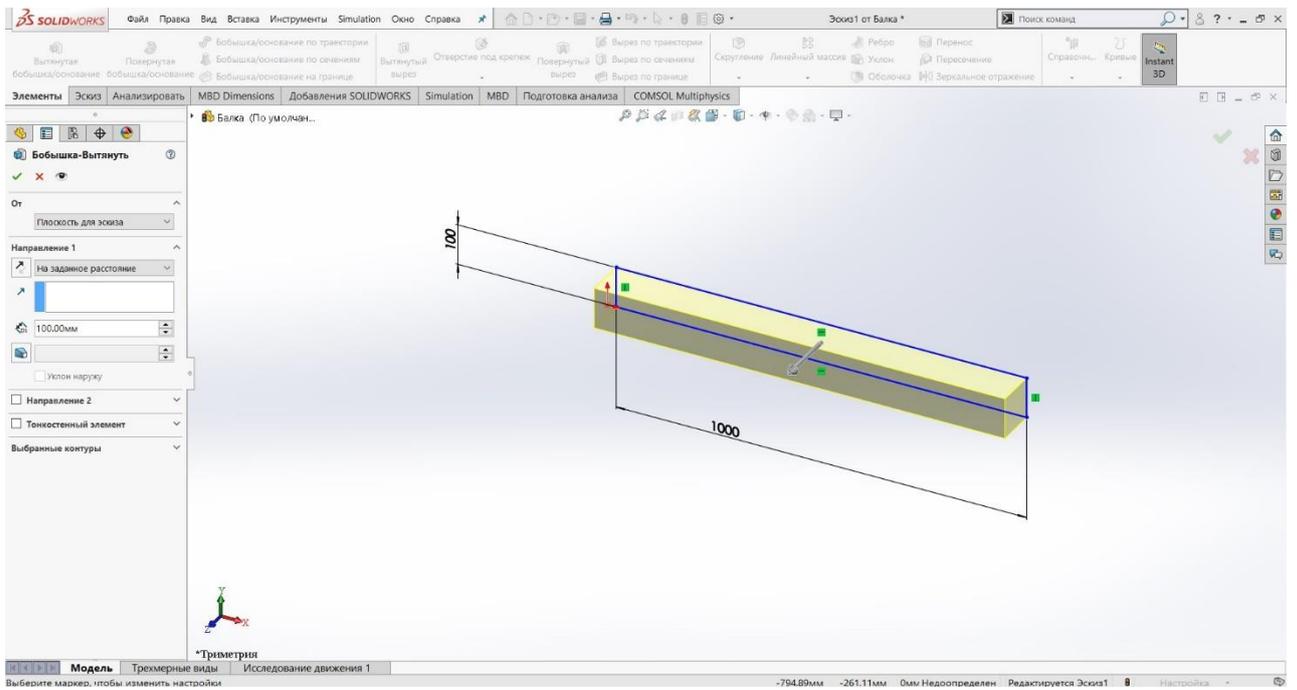


Рисунок 15 – Создание 3Д модели

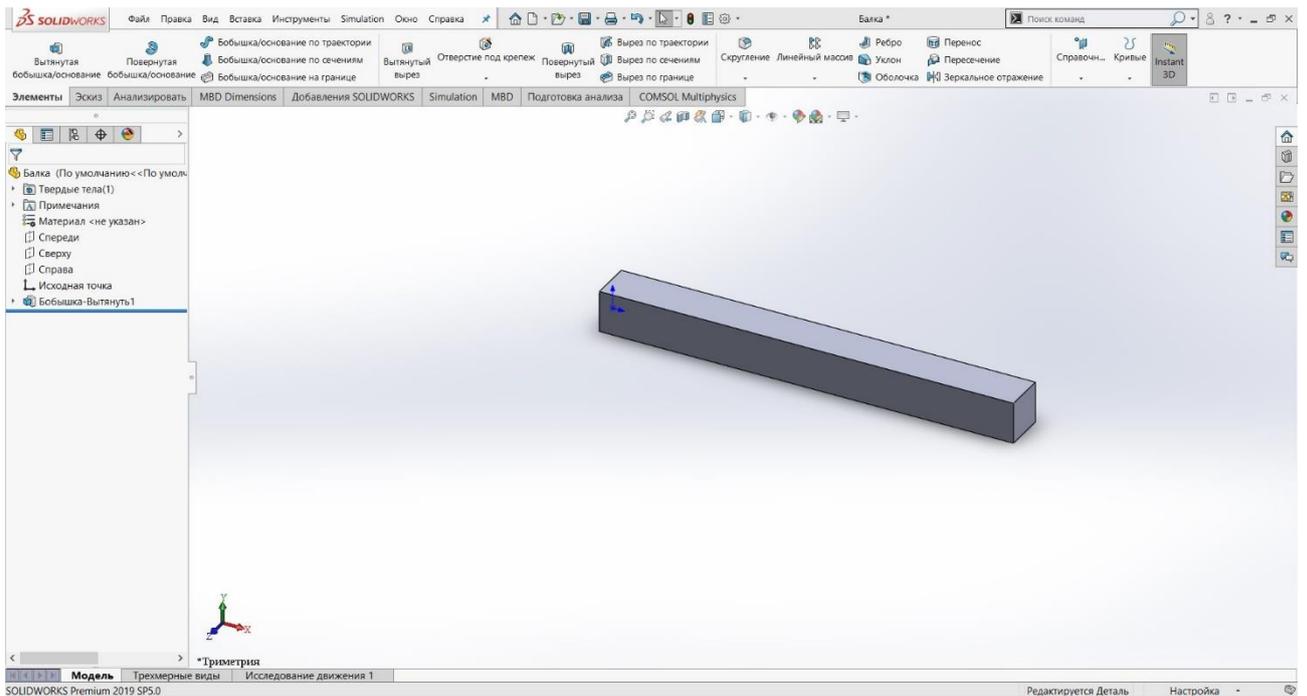


Рисунок 16 – 3Д модель балки

Для создания нового исследования, необходимо выбрать статический метод исследования.

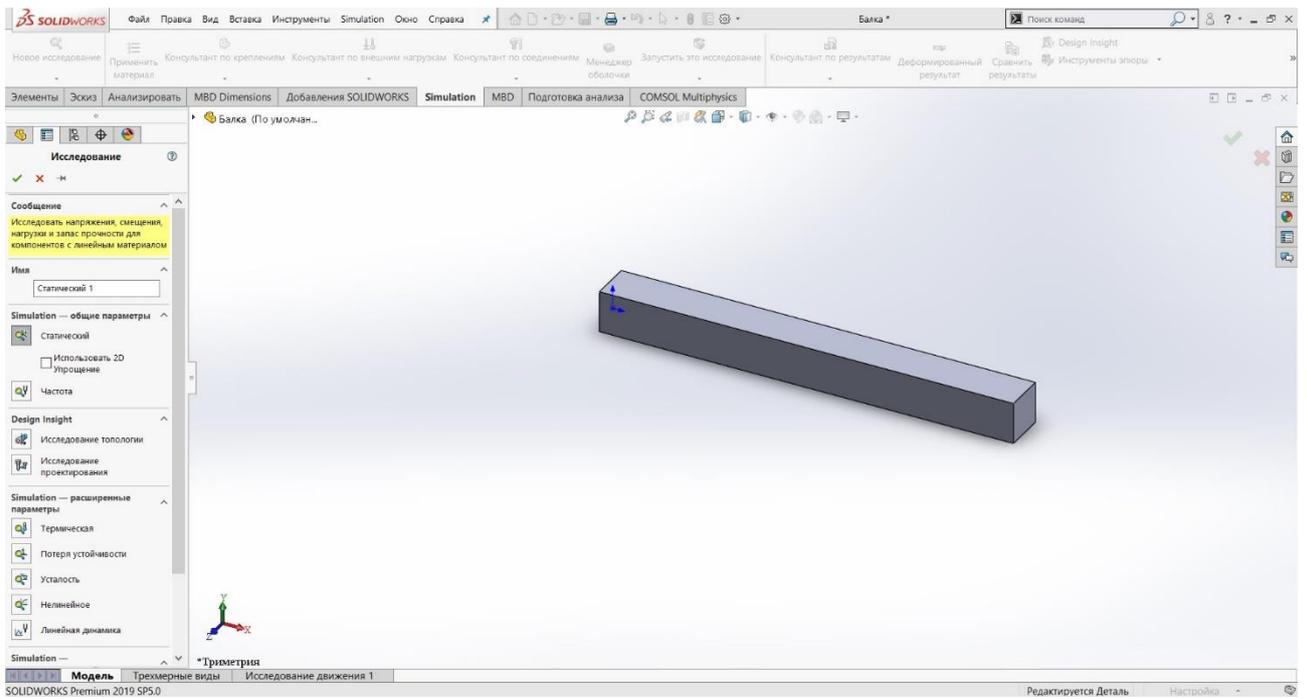


Рисунок 17 – Создание исследования

Для задания материала выбрана сталь 10ХСНД из библиотеки ГОСТ, так как в конструкции транспортно-установочного агрегата данная сталь используется в качестве основной.

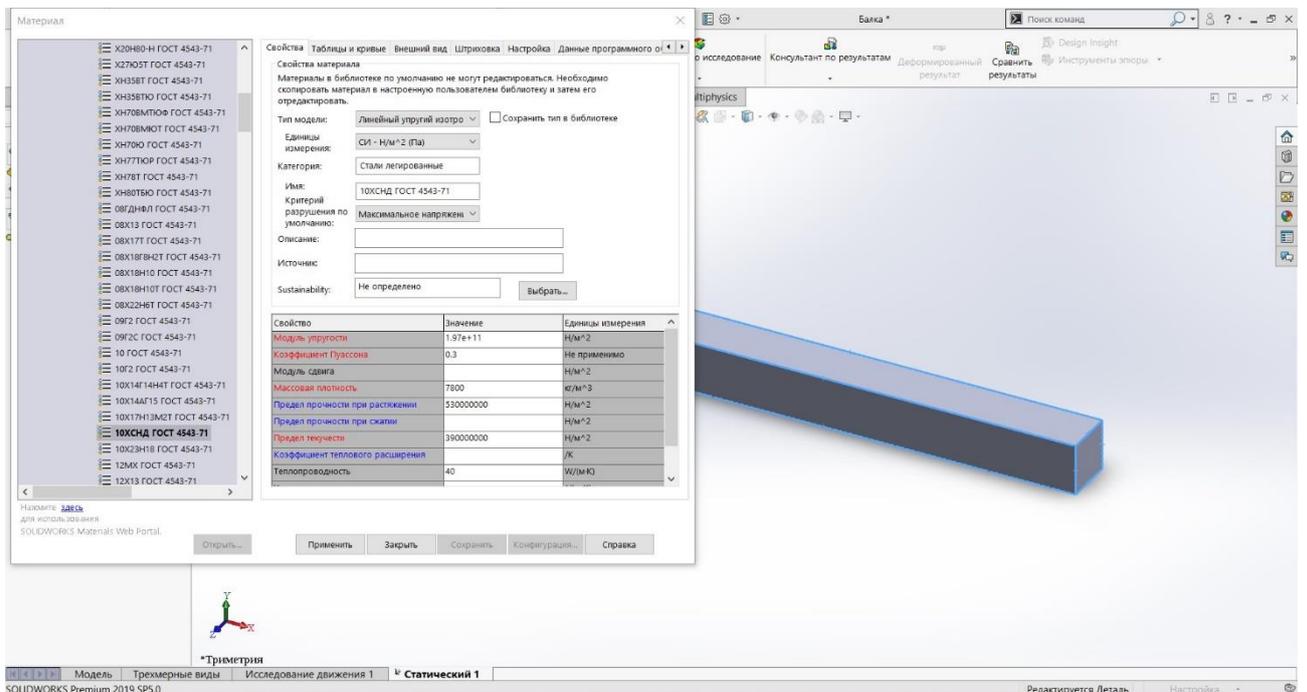


Рисунок 18 – Задание материала

При задании закрепления была выбрана фиксированная геометрия, запрещающая все перемещения данной грани.

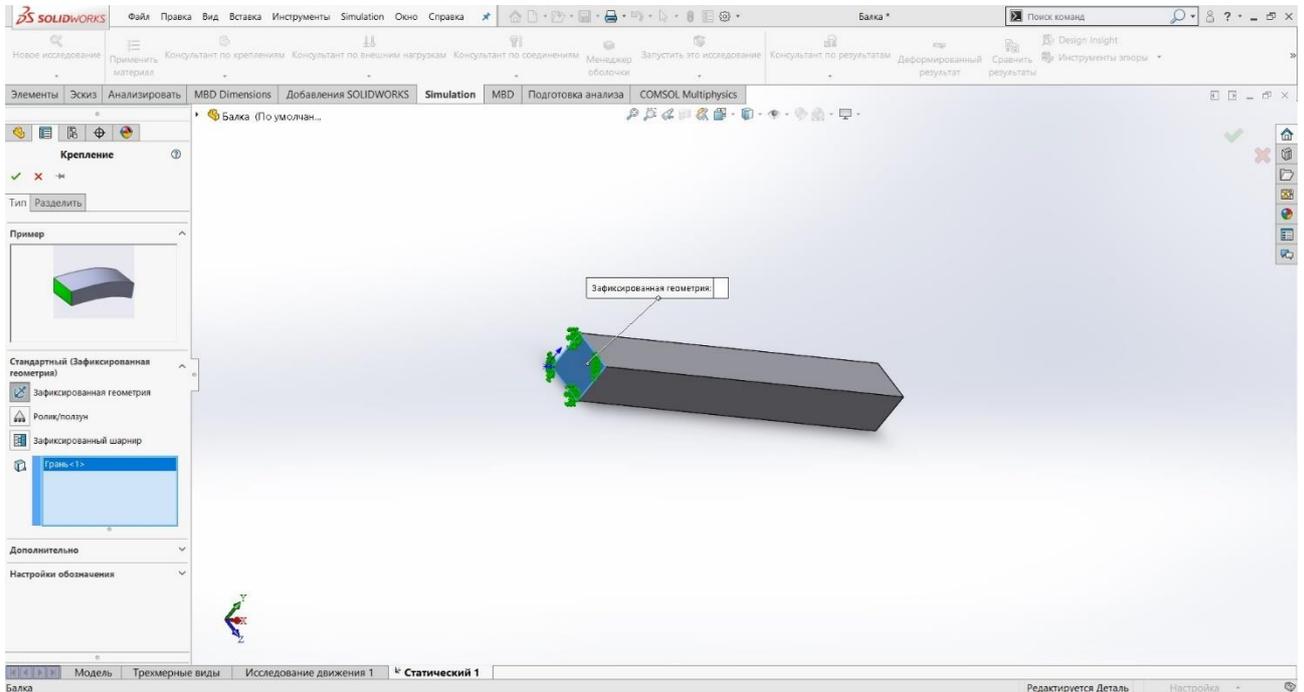


Рисунок 19 – Задание закрепления

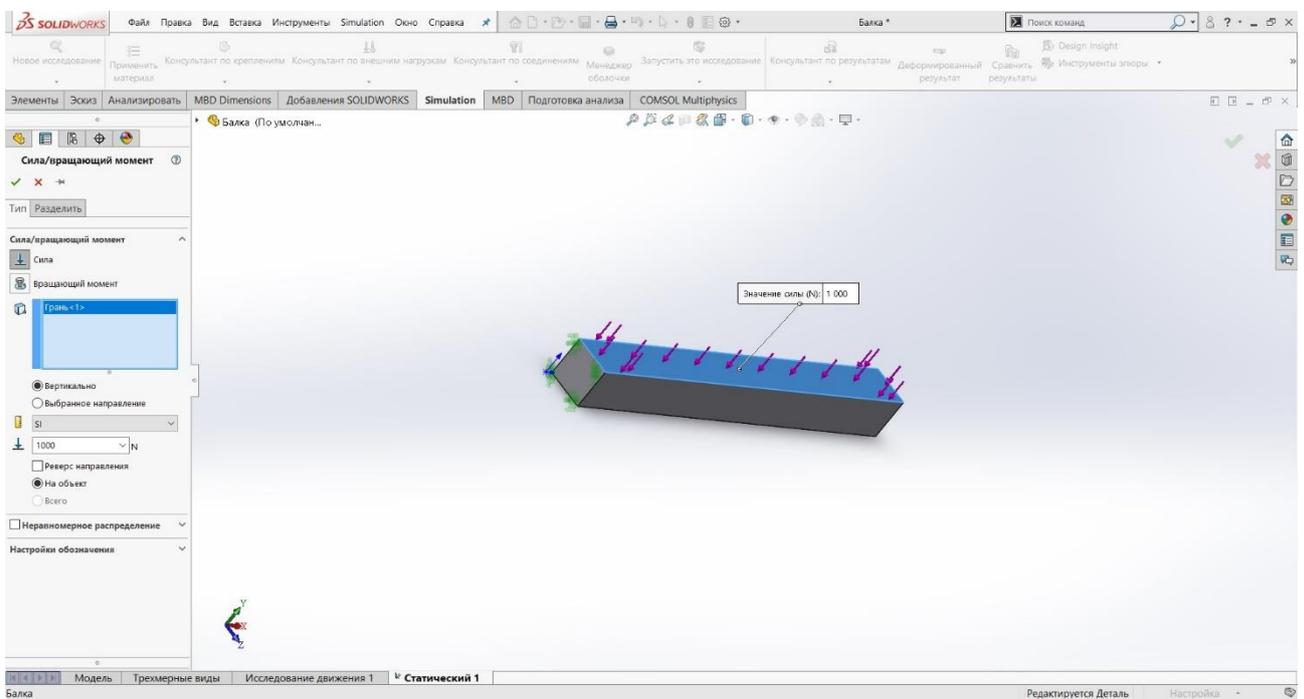


Рисунок 20 – Задание внешней нагрузки

Для задания внешней нагрузки была выбрана сила, воздействующая на грань, в физическом эквиваленте 1000 ньютонов.

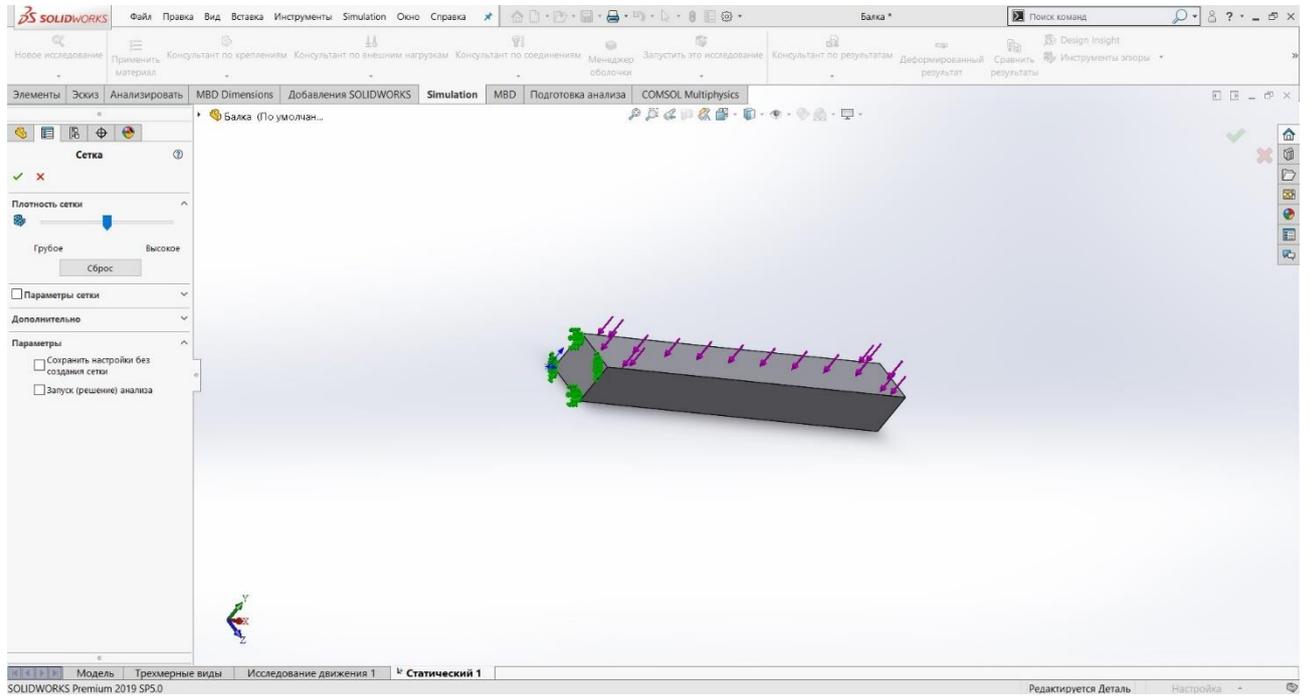


Рисунок 21 – Создание сетки

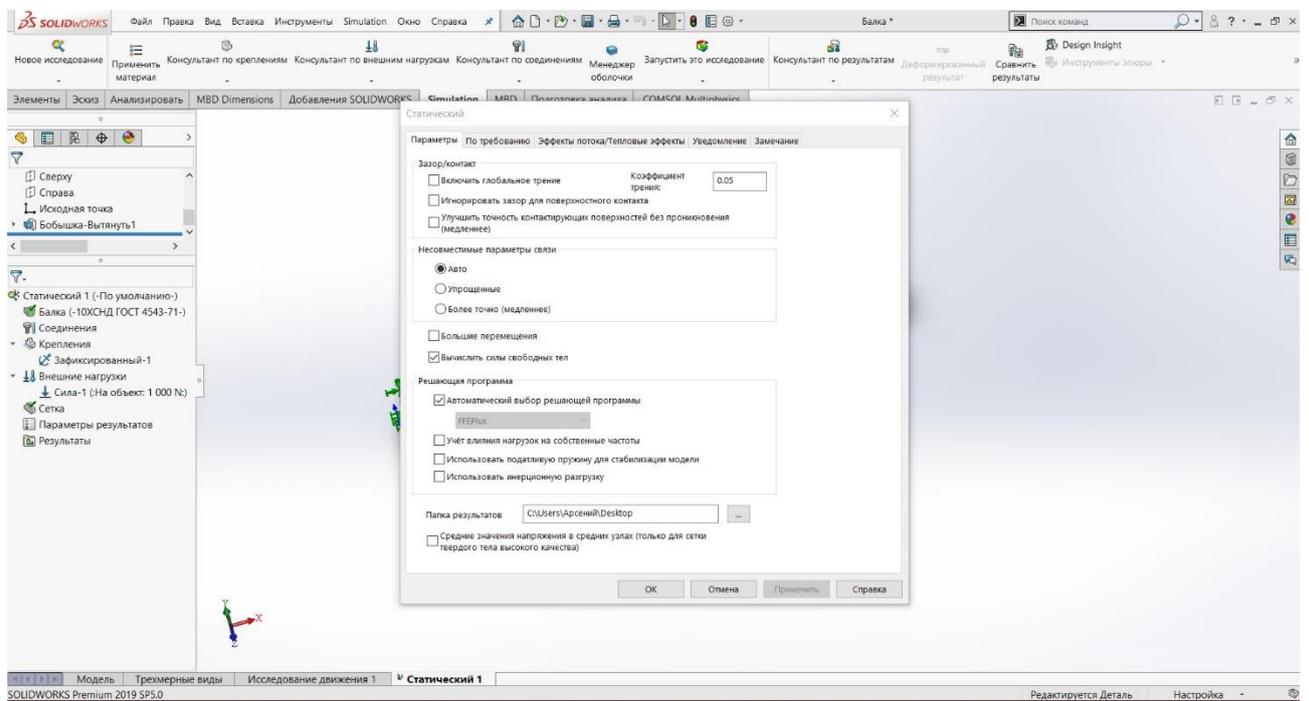


Рисунок 22 – Выбор решающей программы

Далее задаются параметры сетки для разбиения 3Д модели на простейшие ПОЛИГОНЫ.

Перед началом исследования необходимо выбрать решающую программу или поставить галочку «Автоматический выбор решающей программы».

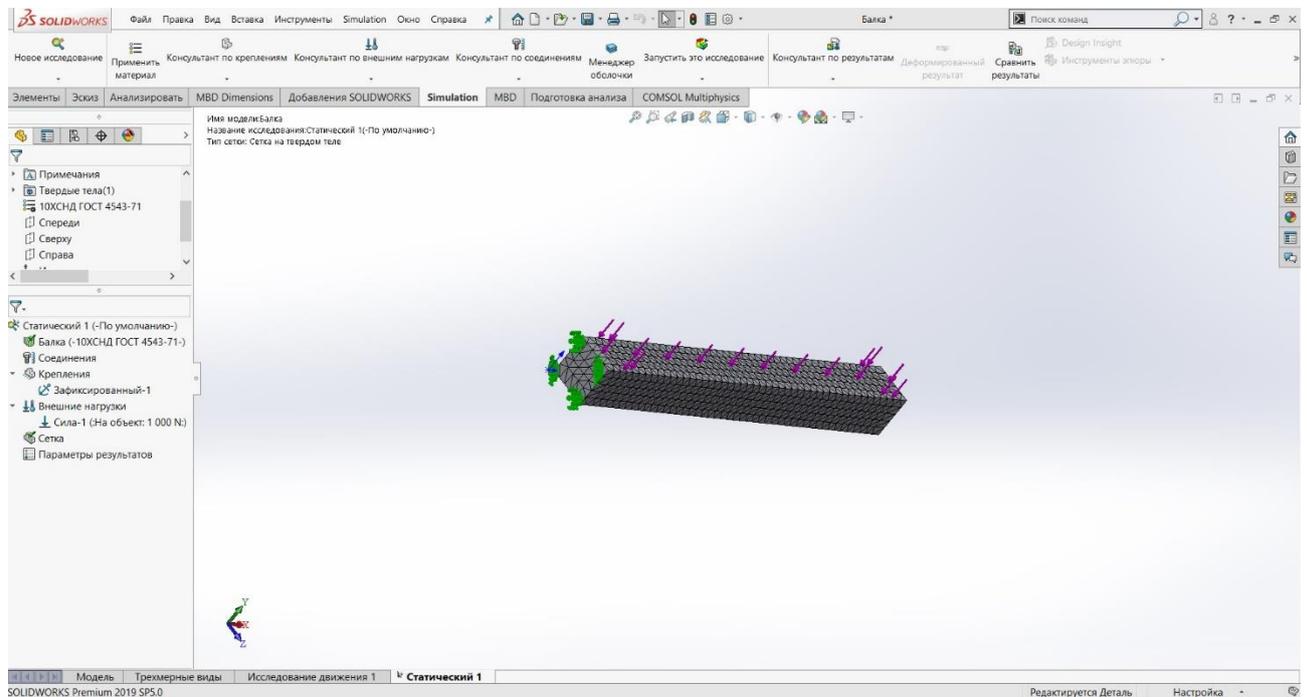


Рисунок 23 – Сетка 3Д модели

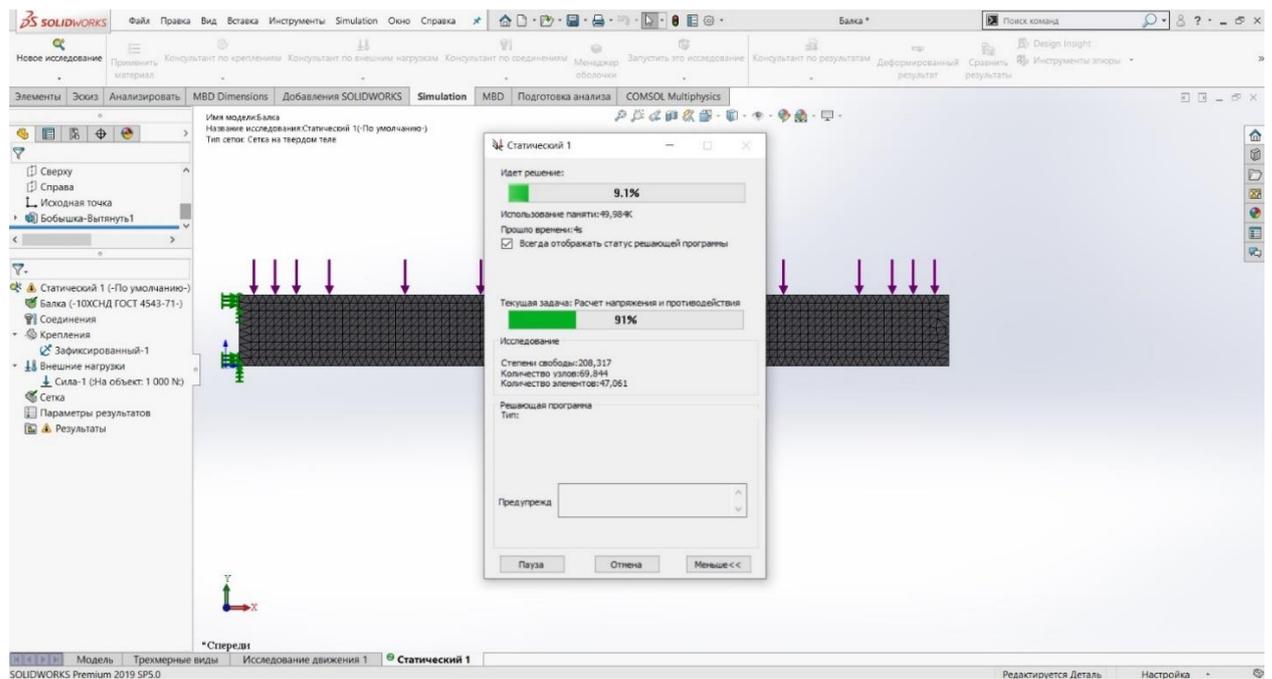


Рисунок 24 – Статус решающей программы

При запуске исследования отображается статус решающей программы, время и прогресс решения, текущая задача, количество степеней свободы, узлов и элементов.

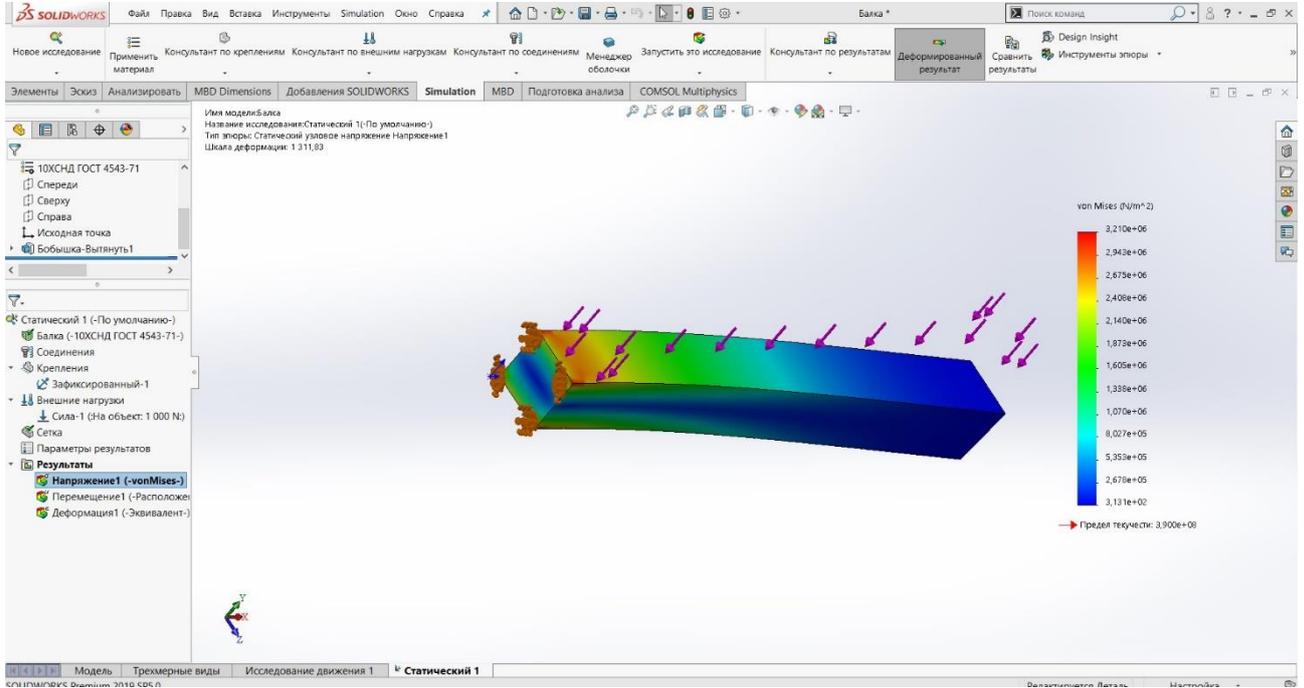


Рисунок 25 – Напряжение балки

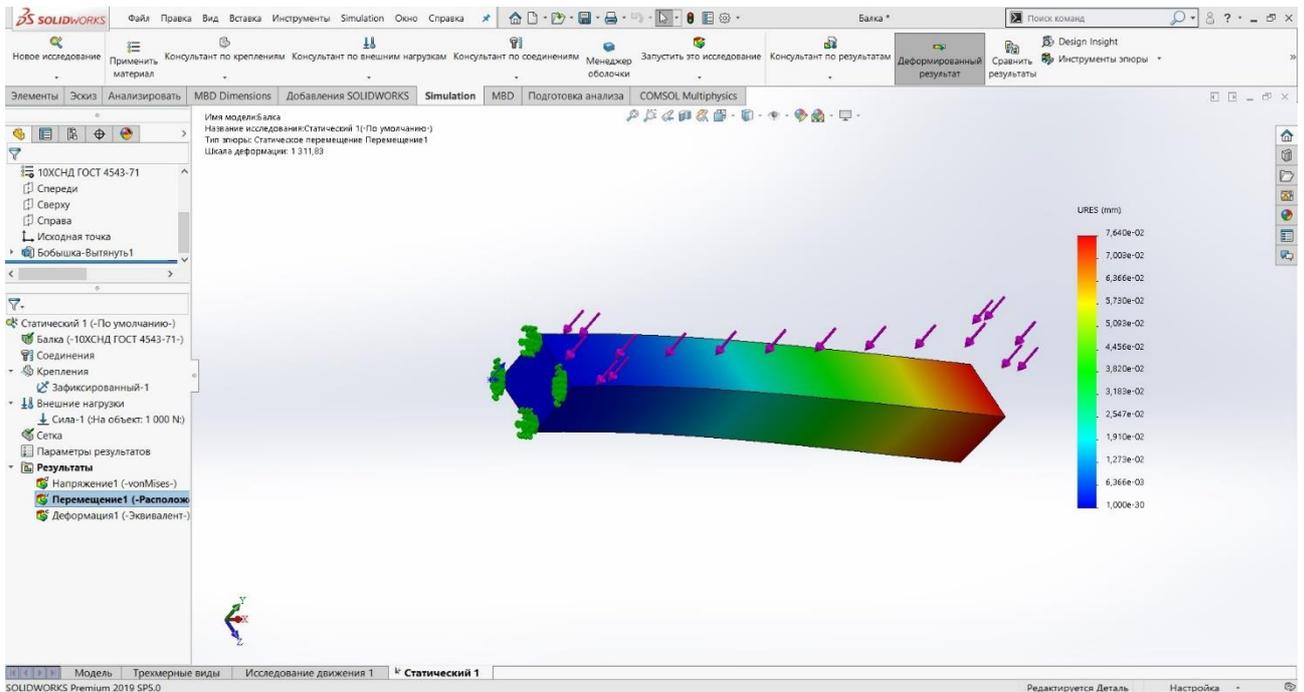


Рисунок 26 – Перемещение балки

Полученные данные решения выводятся во вкладке «Результаты», где можно просмотреть эпюру и данные.

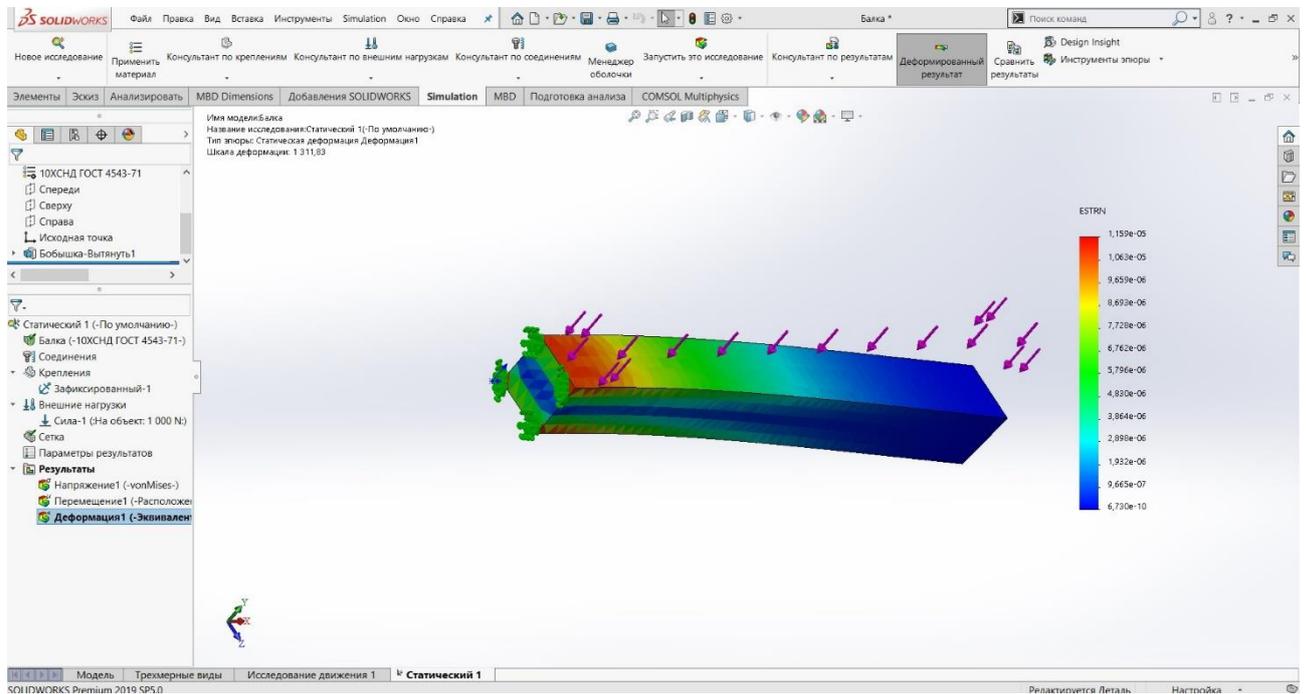


Рисунок 27 – Деформация балки

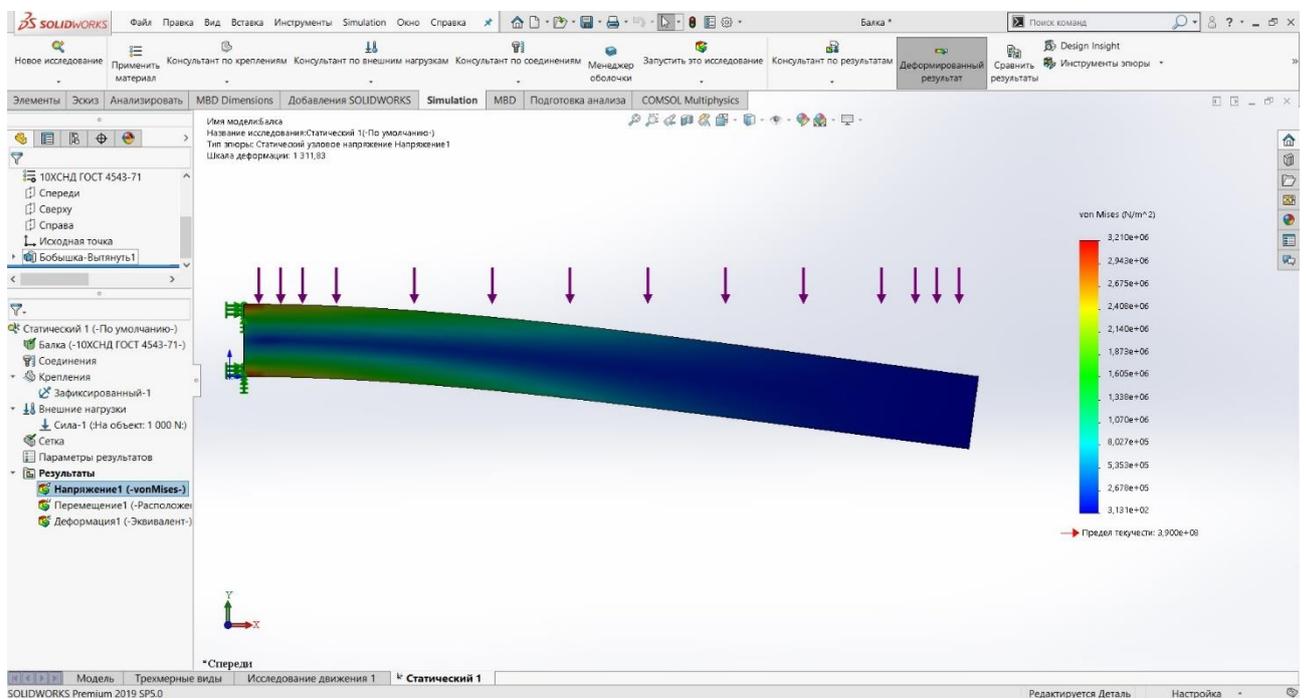


Рисунок 28 – Напряжение балки (вид спереди)

Проанализировав данные, полученные в результате деформации балки, сделан вывод о работоспособности метода, который был взят за основу моделирования 3Д модели транспортно-установочного агрегата.

3.5 Применение метода коэрцитивного контроля в критических точках ТУА

При проведении статического исследования в ППП Solidworks для 3Д модели транспортно-установочного агрегата были обнаружены места с наибольшими напряжениями, располагающиеся на платформе ТУА. Для проверки коэрцитивной силы, были выбраны области располагающаяся на листе рамы ПлП23-2.01.01.346 и ПлП23-2.01.01.346-01.

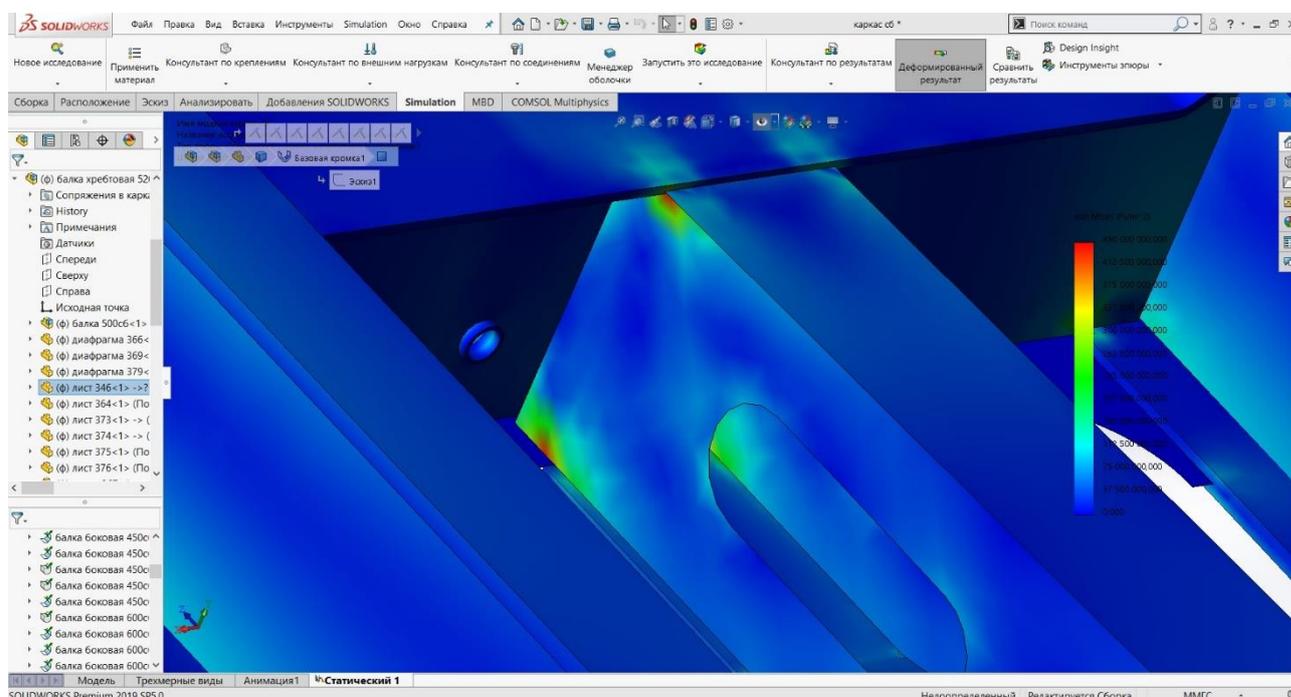


Рисунок 29 – Зоны напряжений на листе рамы ПлП23-2.01.01.346.

Для получения более детальной картины коэрцитивной силы в исследуемом участке, была составлена маршрутная карта контрольных точек приложения полюсов датчиков к плоскостям деталей. Размеры полюсов датчиков 12×28 миллиметров, а расстояние между ними 24 миллиметра. Исходя из полученных данных был выбран шаг в 24 миллиметра по вертикали, со смещением на 12

миллиметров по горизонтали в сторону наименьших напряжений после выполнения полного прохода. При получении разницы значений $\Delta H_C \leq 5\%$ в течении полного прохода по вертикали, необходимо перейти к исследованию следующей поверхности или, по достижении полного массива данных, завершить исследование.

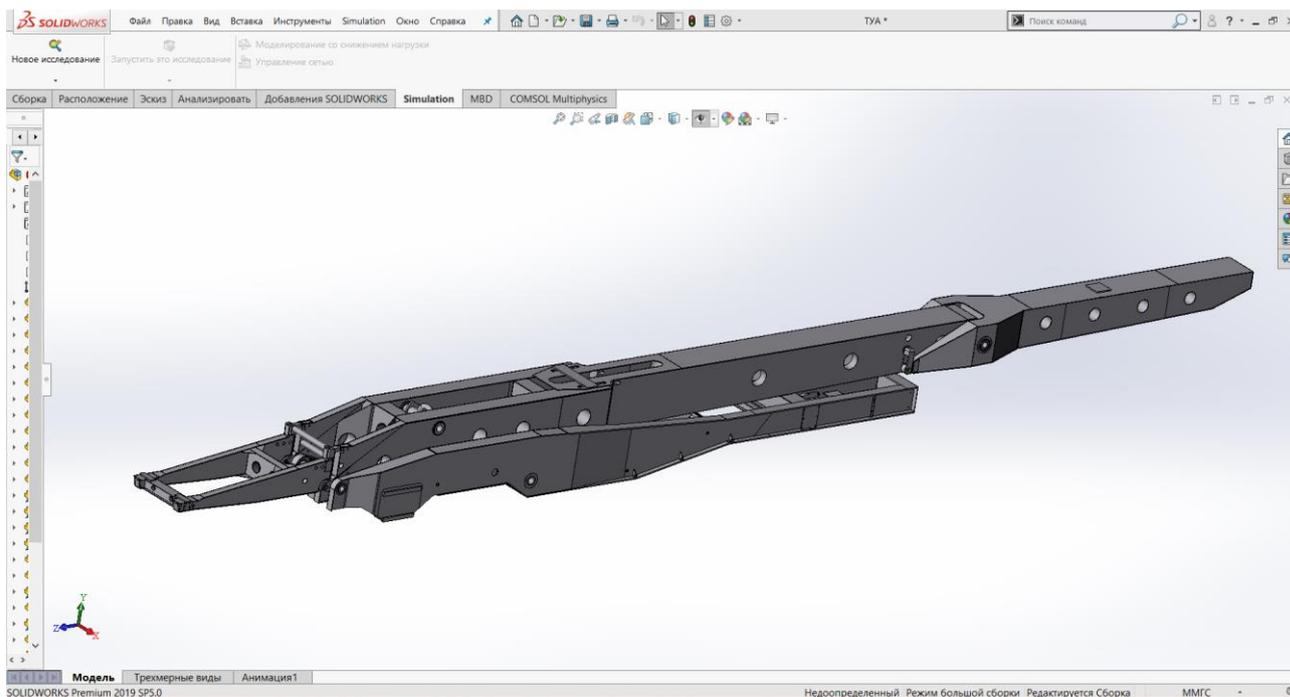


Рисунок 30 – 3Д модель ТУА

Испытания с помощью коэрцитиметрического метода проводятся в следующей последовательности:

1) Статические испытания ТУА на тележках при горизонтальном положении стрелы (вариант 1).

Для проведения статических испытаний ТУА на тележках при горизонтальном положении стрелы необходимо:

- установить на ТУА фермы грузового макета в соответствии с инструкцией на погрузку (разгрузку) грузового макета на ТУА;
- загрузить фермы грузами по варианту 1 (рисунки 14, 15);
- подготовить коэрцитиметр КСП-01 к работе;

- измерить через 5 мин коэрцитивную силу в контрольных точках;
- еще через 10 мин вновь измерить коэрцитивную силу в контрольных точках. При повторном замере H_C может отличаться от первоначального не более чем на 15% (сумма максимально допустимых погрешностей двух измерений). Если значения H_C отличается на большую величину, делается вывод о текучести металлоконструкции. В этом случае испытания прекращаются и эксплуатация ТУА запрещается;

- завершить работу коэрцитиметром КСП-01;
- осмотреть стрелу, платформу, нижнюю, среднюю, верхнюю опоры.

Никаких повреждений не должно быть.

2) Статические испытания ТУА на тележках при поднятом положении стрелы (вариант 2).

Для проведения статических испытаний ТУА на тележках при приподнятом положении стрелы необходимо:

- подготовить коэрцитиметр КСП-01 к работе;
- загрузить фермы грузами по варианту 2 (рисунок 14, 15), руководствуясь инструкцией на погрузку (разгрузку) грузового макета на ТУА;

- поднять стрелу на высоту от 400 мм до 450 мм от опорной поверхности упоров на платформу;

- измерить коэрцитивную силу в контрольных точках;
- еще через 10 мин вновь измерить коэрцитивную силу в контрольных точках. При повторном замере H_C может отличаться от первоначального не более чем на 15% (сумма максимально допустимых погрешностей двух измерений).

Если значения H_C отличается на большую величину, делается вывод о текучести металлоконструкции. В этом случае испытания прекращаются и эксплуатация ТУА запрещается;

- опустить стрелу на платформу и завершить работу коэрцитиметром КСП-01;

– осмотреть стрелу, платформу, нижнюю, среднюю, верхнюю опоры. Никаких повреждений не должно быть.

3) Динамические испытания ТУА (вариант 3)

Для проведения динамических испытаний ТУА необходимо:

– загрузить фермы грузами по варианту 3 (рисунок 14, 15);
– транспортировать ТУА тепловозом со скоростью до 10 км/ч с проведением от двух до трех торможений;

– передвинуть ТУА вперед и назад самоходом на большой скорости на расстояние 20 м в каждую сторону. Операции по передвижению ТУА вперед и назад выполнить три раза;

– передвинуть ТУА вперед и назад самоходом на малой скорости на расстояние 1 м в каждую сторону. Операции по передвижению ТУА вперед и назад выполнить три раза;

– вывинтить штыри из нижней опоры макета;

– расфиксировать ложементы нижней опоры и ослабить крепление траверс 19 (рисунок 16);

– подъехать самоходом к сооружению;

– установить механизмы доводки;

– выставить ТУА на гидроопорах;

– поднять стрелу в вертикальное положение;

– опустить стрелу в горизонтальное положение.

Операции по подъему и опусканию стрелы выполнить три раза. В процессе подъема и опускания произвести по три остановки стрелы в промежуточных положениях;

– поднять стрелу в вертикальное положение;

– опустить ТУА на левой гидроопоре до автоматической остановки;

– опустить ТУА на правой гидроопоре до автоматической остановки;

– поднять ТУА на левой гидроопоре до автоматической остановки;

– поднять ТУА на правой гидроопоре до автоматической остановки.

Операции по подъему и опусканию ТУА на гидроопорах выполнить три раза. В процессе подъема и опускания ТУА на гидроопорах произвести по три остановки ТУА в промежуточных положениях:

- опустить стрелу в горизонтальное положение;
- убрать гидроопоры;
- отсоединить механизмы доводки;
- отъехать транспортно-установочным агрегатом от сооружения;
- измерить коэрцитиметром КСП-01 в контрольных точках значения коэрцитивной силы и занести в паспорт магнитного контроля. Если значения H_C отличается на 15% от паспортных данных магнитного контроля, делается вывод о текучести металлоконструкции. В этом случае испытания прекращаются и эксплуатация ТУА запрещается;

– осмотреть верхнюю, среднюю и нижнюю опоры ТУА, стрелу, платформу с тележками, гидроцилиндр, крылья, механизм подвески; гидроопоры. После испытаний не должно быть никаких повреждений.

– Примечание – Для исключения перегрева масла в гидроприводе, необходимо после каждого цикла подъема – опускания стрелы делать перерыв 1 ч, а после циклов подъема – опускания на гидроопорах делать перерыв 0,5 ч.

После испытаний необходимо:

- установить лестницы к нижней опоре;
- зафиксировать макет штырями 20 (рисунок 16) и зафиксировать положение траверс 19;
- снять лестницы нижней опоры и закрепить их по походному;
- подать ТУА на технологическую площадку;
- снять грузовой макет;
- выключить напряжение;
- уложить фермы грузового макета на подставки (Рисунки 17, 18, 19, 20);
- законсервировать грузовой макет.

Метод магнитного коэрцитивного контроля в отличии от метода с использованием отвеса, используемым в настоящее время, позволяет получить более полный массив информации о напряжениях в критических узлах, что позволяет сделать вывод о освидетельствовании транспортно-установочного агрегата и продления срока службы, по истечению гарантийного количества циклов, или о его аварийном состоянии. Это позволяет сократить расходы на покупку нового транспортно-установочного оборудования или предотвратить аварийную ситуацию.

4 ОЦЕНКА БЕЗОПАСНОСТИ МАГНИТНОГО КОЭРЦИТИВНОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ ТУА

Метод магнитного коэрцитивного контроля один из безопасных, но при неправильной эксплуатации устройств или несоблюдении правил безопасности может быть нанесён вред имуществу или человеческой жизни. Для исключения опасности для человека или оборудования необходимо соблюдать и выполнять:

- правила безопасности при работе с оборудованием;
- правила электробезопасности;
- правила пожарной безопасности;
- требования безопасности при производственных процессах.

К выполнению измерений коэрцитивной силы допускают операторов, обладающих навыками эксплуатации оборудования магнитометрической диагностики, умеющих пользоваться нормативными документами и технической документацией по магнитным методам контроля, прошедших обучение работе с применяемыми системами измерения и аттестованных на знание правил безопасности в соответствующей отрасли промышленности. При проведении измерений оператор должен руководствоваться ГОСТ 12.2.003, ГОСТ 12.3.002 и правилами технической безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей по ГОСТ Р 12.1.019 и ГОСТ 12.1.038. Измерения проводят в соответствии с требованиями безопасности, указанными в инструкции по эксплуатации аппаратуры, входящей в состав используемых систем измерений. При организации работ по применению метода магнитного коэрцитивного контроля должны быть соблюдены требования пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004.

Перед допуском к работе, персонал должен пройти соответствующий инструктаж по технике безопасности с регистрацией в специальном журнале. При длительных работах по магнитному контролю проводится ежемесячный инструктаж. При каждом изменении условий производства работ проводится внеочередной инструктаж.

При использовании коэрцитиметра КСП-01 перед началом эксплуатации необходимо проверить отсутствие на его корпусе и разъемах механических повреждений, следов окисла, ржавчины или загрязнений. При наличии загрязнения нужно удалить их с помощью влажной салфетки или тряпочки. Для удаления загрязнения не использовать химически активные жидкости (спирт, ацетон, растворитель, моющие средства и т.п.). Запрещается эксплуатация устройства с механическими повреждениями или следами коррозии. В случае обнаружения признаков задымления или воспламенения следует незамедлительно прекратить эксплуатацию изделия. В случае если коэрцитиметр был подключен к зарядному устройству, то отключить коэрцитиметр от зарядного устройства, а зарядное устройство от сети, и принять меры по предотвращению возникновения пожара или опасной ситуации.

Как правило, предварительная подготовка поверхности объекта контроля не требуется. Измерения допускается выполнять на неподготовленной поверхности с наличием защитного покрытия, а также слоя пыли, грязи толщиной до 3÷4 мм. Для проведения измерений на цилиндрической поверхности необходимо применять преобразователи с соответствующими радиусами кривизны рабочей поверхности. Результат измерений фиксируют в паспорте магнитного контроля.

5 РАСЧЕТ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ЗАТРАТ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДА КОЭРЦИТИВНОГО КОНТРОЛЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ИСПЫТАНИЙ ТУА

Под эксплуатационными затратами подразумеваются затраты организации, возникающие при использовании нового оборудования. Величина затрат зависит от:

- особенностей использования техники (уровня профессиональной подготовки персонала, современности техники, условий хранения техники);
- условий эксплуатации техники (климатических условий, интенсивности использования по времени);
- степени рациональности исполнения изделия.

Типовой состав эксплуатационных расходов $S_{ЭК}$ включает в себя:

$$S_{ЭК} = S_{з.п. осн} \cdot K_{квал} + S_{з.п. доп} + S_{с.в} + S_{э.м} + S_{б.э}, \quad (2)$$

где $S_{з.п. осн}$ – затраты по основной зарплате эксплуатирующего персонала;

$K_{квал}$ – коэффициент квалификации эксплуатирующего персонала;

$S_{з.п. доп}$ – затраты по дополнительной зарплате эксплуатирующего персонала;

$S_{с.в}$ – страховые взносы;

$S_{э.м}$ – затраты на эксплуатационные материалы;

$S_{б.э}$ – затраты на восстановления износа быстроизнашивающихся элементов техники.

Так как затраты по основной зарплате эксплуатирующего персонала зависят от квалификации персонала, для минимизации затрат и повышения качества обслуживания рационально допускать к работам персонал с высокой квалификацией, при которой коэффициент $K_{квал} \approx 1,2$.

Затраты по дополнительной зарплате эксплуатирующего персонала состоят из:

$$S_{з.п.доп} = S_{з.п. осн} \cdot \alpha, \quad (3)$$

где α – коэффициент, учитывающий затраты по дополнительной зарплате персонала.

При использовании техники в местности с нормальными климатическими условиями $\alpha = 0,3$.

Затраты на страховые взносы включают в себя:

$$S_{с.в} = K_c \cdot (S_{з.п. осн} + S_{з.п.доп}), \quad (4)$$

где K_c – коэффициент тарифа страховых взносов.

Для основной категории плательщиков страховых взносов установлен тариф страховых взносов в размере 30%.

Затраты на эксплуатационные материалы в данном случае составляют цену закупки коэрцитиметра КСП-01 по рыночной цене 119000 рублей. При дальнейших расчетах эксплуатационных расходов затраты на эксплуатационные материалы учитывать по мере выхода из строя коэрцитиметров КСП-01.

Затраты на восстановления износа быстроизнашивающихся элементов техники состоят из цены сменных наконечников для коэрцитиметра КСП-01, рыночная цена которых составляет 4000 рублей за комплект.

Согласно технологической карте № 20³, количество обслуживающего персонала составляет 5 человек и трудоёмкость 20 чел.-ч., при условии, что один человек проводил контроль ТУА с помощью отвеса. Для метода коэрцитиметрического контроля необходимо 2 человека, следовательно количество обслуживающего персонала увеличивается до 6 человек. Следовательно, на 1 человека в среднем приходится 3,3 часа. Средняя заработная плата в месяц

³ Инструкция по техническому обслуживанию. 2014.

составляет 50000 рублей. При 40-часовой рабочей неделе, среднемесячное количество рабочих часов составляет 165. При пересчёте заработной платы в час, получаем 303 рубля. Используя все данные получаем формулу расчета разовых эксплуатационных расходов при контроле ТУА для 6 человек:

$$S_{ЭК} = (S_{з.п. осн} \cdot K_{квал} + S_{з.п. осн}) + (S_{з.п. осн} \cdot \alpha) + (K_c \cdot (S_{з.п. осн} + S_{з.п. доп})) + S_{э.м} + S_{б.э}. \quad (5)$$

$$S_{ЭК} = (2 \cdot 1000 \cdot 1,2 + 4 \cdot 1000) + (6 \cdot 1000 \cdot 0,3) + (6 \cdot 0,3 \cdot (1000 + 300)) + 119000 + 4000 = 133540 \text{ рублей.}$$

Дальнейшие разовые эксплуатационные затраты имеют вид:

$$S_{ЭК} = (S_{з.п. осн} \cdot K_{квал} + S_{з.п. осн}) + (S_{з.п. осн} \cdot \alpha) + (K_c \cdot (S_{з.п. осн} + S_{з.п. доп})). \quad (6)$$

$$S_{ЭК} = (2 \cdot 1000 \cdot 1,2 + 4 \cdot 1000) + (6 \cdot 1000 \cdot 0,3) + (6 \cdot 0,3 \cdot (1000 + 300)) = 10540 \text{ рублей.}$$

Учитывая гарантию на коэрцитиметр КСП-01 сроком в 1 год, можно рассчитать годовые эксплуатационные затраты при необходимом количестве испытаний $S_{ЭК} = (119000 + 4000) + X \cdot (10540) = 144080$ рублей, где X – количество испытаний в год, в данном случае X=2.

При необходимости затраты на восстановления износа быстроизнашивающихся элементов техники можно сократить, с помощью самостоятельного изготовления сменных наконечников, используя сталь 10895.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения бакалаврской работы выполнены следующие задачи:

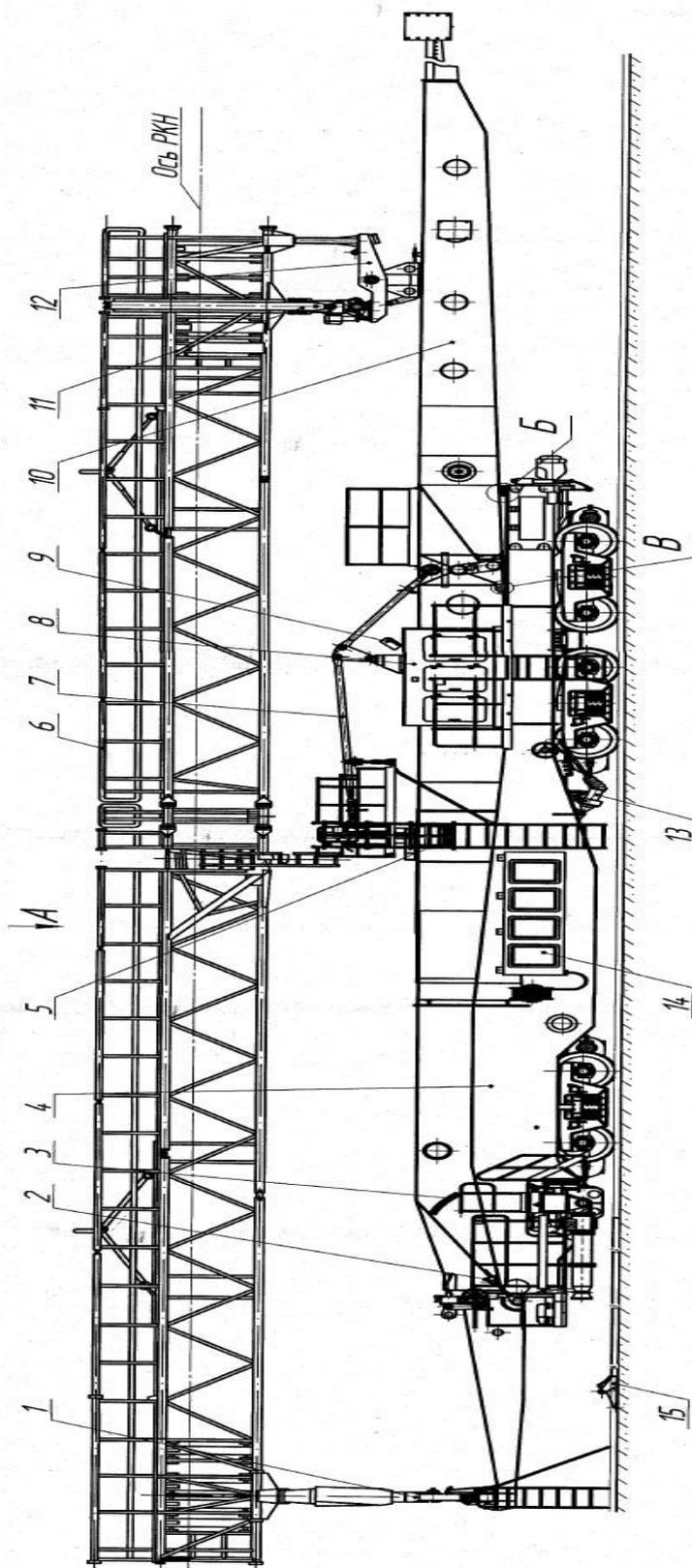
- исследованы основные методы неразрушающего контроля, позволяющие сделать вывод о состоянии металлоконструкции транспортно-установочного агрегата;
- выбран метод магнитного коэрцитивного контроля, основанный на остаточной коэрцитивной силе материала, после возникновений напряжений;
- проанализирован рынок структуроскопов, подходящих для данной задачи и выбран структуроскоп-коэрцитиметр КСП-01;
- смоделирована и исследована модель метода коэрцитиметрического контроля в ППП Comsol;
- смоделирована и исследована модель методов конечно-элементного анализа напряжений в ППП Solidworks;
- построена и исследована на нагрузку 3Д модель транспортно-установочного агрегата;
- определены критические точки транспортно-установочного агрегата;
- определена методика испытаний с использованием коэрцитиметрического метода контроля;
- проведены оценка безопасности и расчет эксплуатационных затрат при использовании метода коэрцитивного контроля при проведении испытаний ТУА.

Исходя из полученных данных сделан вывод о полной работоспособности метода и рекомендован к использованию для контроля и прогнозирования состояния и транспортно-установочного оборудования РКН «Союз».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

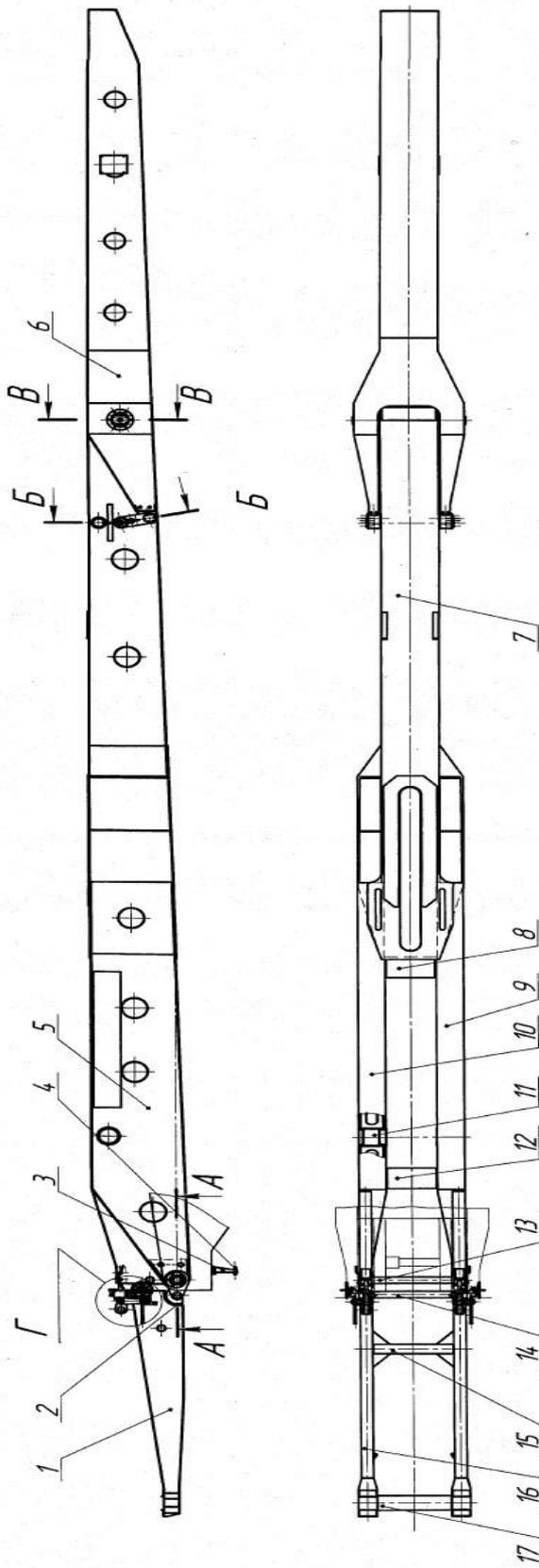
1. Махутов, Н. А. Диагностика и мониторинг состояния сложных технических систем: Учебное пособие. / Н. А. Махутов, В. Н. Пермяков, Р. С. Ахметханов. – Тюмень: ТИУ, 2017. – 632 с.
2. Инструкция по техническому обслуживанию. Транспортно-установочный агрегат. Первое издание, 2014.
3. Техническое описание. Транспортно-установочный агрегат. Первое издание, 2014.
4. Техническое описание. Транспортно-установочный агрегат. Альбом рисунков. Первое издание, 2014.
5. Маликов, В. Г. Наземное оборудование ракет. / В. Г. Маликов, С. Ф. Комисарик, А. М. Коротков. – М.: Воениздат, 1971. – 304 с.
6. Технологические объекты наземной инфраструктуры ракетно-космической техники: Инженерное пособие, Книга 2. / – М.: Полиграфикс РПК, 2006. – 376 с.
7. Руднев, А. М. Проблемы мониторинга напряженно-деформированного состояния металлоконструкций подъемных сооружений. / А. М. Руднев, В. А. Попов, В. А. Гудошник. – Запорожье: ЗНУ, 2013.
8. Сегерлинд, Ларри Применение метода конечных элементов: пер. с англ. / Л. Сегерлинд. – М.: МИР, 1979. – 389 с.
9. Зенкевич, Ольгерд Конечные элементы и аппроксимация: пер. с англ. / О. Зенкевич, К. Морган. – М.: МИР, 1986. – 318 с.
10. Формалев В. Ф. Численные методы. / В. Ф. Формалев, Д. Л. Резников. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 400 с.
11. Скворцов Ю. В. Организационно-экономические вопросы в дипломном проектировании: Учебное пособие. / Ю. В. Скворцов. – М.: Студент, 2012. – 374 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А



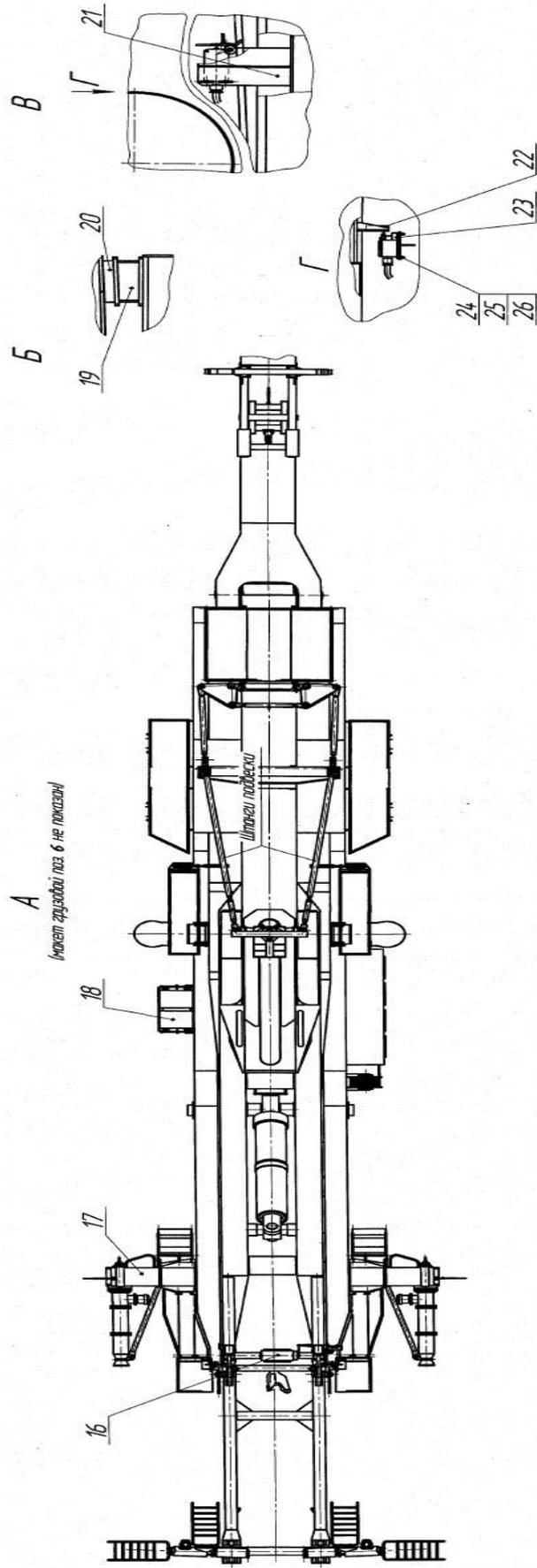
1 - опоры нижняя и средняя 0501000; 2 - указатель вертикальности 1001000; 3 - указатель наклона 0801000; 4 - платформа ПР23-200100000; 5 - лестницы и площадки 1201000; 6 - мачта ступенчатая 3201000; 7 - мачта поддеки 0901000; 8 - гидроподъем 0401000; 9 - элементы крепления 1901000; 10 - стрела 0201000; 11 - застег в створе 1701000; 12 - стеньга отбортовки 0501000; 13 - мачта отбортовки 0601000; 14 - электродвигатель 0601000; 15 - отбортовка 3001000;

Рисунок А.1 – ТУА



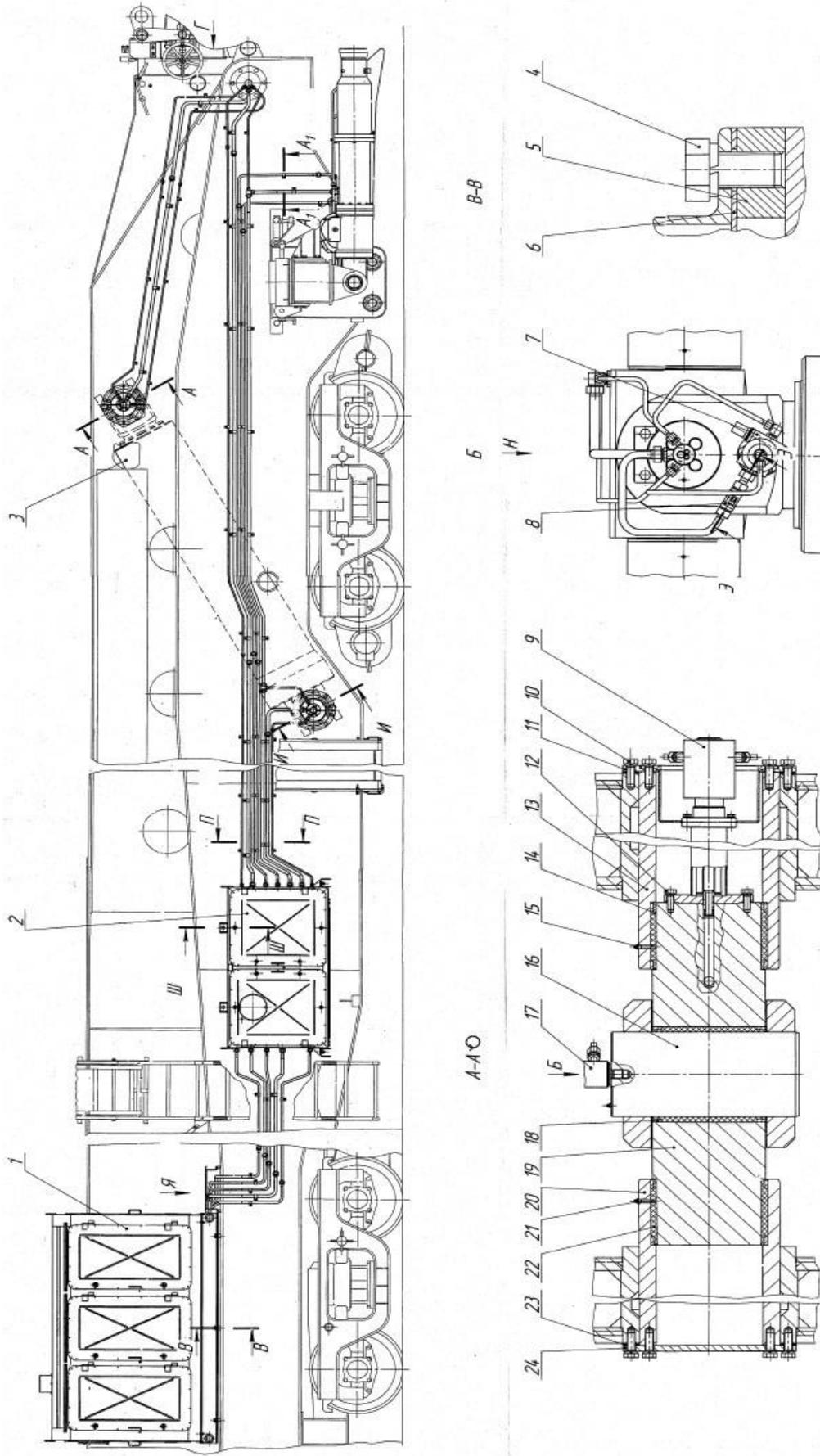
1 - консоль 0204.000; 2 - лоток 0204.016; 3 - крышечка 0201.090; 4 - вымпл 0200.109; 5 - основание стрелы 0201.000; 6 - удлинитель 0205.000; 7 - болта 0201.000; 8 - поперечная болта 0202.060; 9 - грабли болта 0202.010; 10 - ледок болта 0202.020; 11 - втулка гидроджмута 0202.102; 12 - поперечная болта 0202.050; 13 - труба 0204.003; 14 - труба 0204.020; 15 - болта 0204.040; 16 - болта 0204.030; 17 - болта 0204.030.

Рисунок А.2 – Стрела



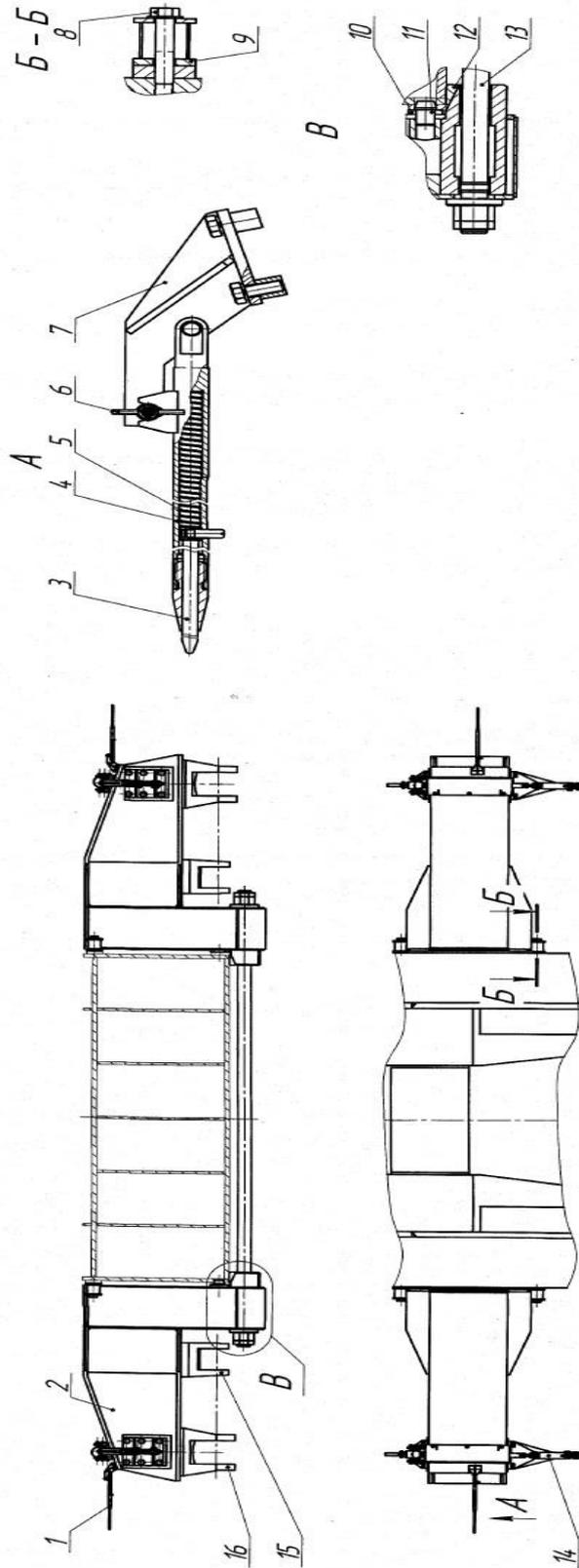
16 - шарнирный механизм 08001000; 17 - крылья 03001000; 18 - комплект ЗИП 20001000; 19 - упор 00001010; 20 - лист 00001001; 21 - крышечка 00001020; 22 - крышечка 00001030; 23 - конический выключатель ВК-300Н; 24 - болт М6х25 ГОСТ 7798-70; 25 - гайка М6 ГОСТ 5935-70; 26 - шайба 16 ГОСТ 1571-68

Рисунок А.3 – ТУА виды А, Б, В



1 - корпус стелія 04.05.000; 2 - блок гидроагрегату 04.06.000; 3 - гидроциліндр 04.07.000 (ІІ); 4, 12 - ділт.; 5 - лоток; 6 - алект.; 7 - гидроциліндр 04.08.000 (ІІ); 8 - одкритий сталець 04.09.000 (ІІ); 9 - підкритий сталець 04.09.000-01; 10, 24 - кривка; 11, 20 - сталець 04.09.000-01; 14, 18, 22 - ділт.; 15, 21 - м'ягкогіт ІІІ; 16 - ась 04.09.000; 17 - підкритий сталець 04.09.000; 19 - підкритий сталець 04.09.000; 23 - кривка прокладку.

Рисунок А.4 – Общий вид гидропривода



1 - указатель 1200.050; 2 - крыло 0301000; 3 - шпиль 1200.055; 4 - пружина 1200.230; 5 - пружина 1200.054; 6 - гайка М6 ГОСТ 3032-76;
 7 - крылышки 1200.220; 8 - болт М8х450 ГОСТ 7798-70; 9 - планка 0301014; 10 - лист 0301011; 11 - палец 03000001; 12 - упор 03000005;
 13 - шпилька 03000006; 14 - механизм тяги гидроторм; 15 - крылышки 0301002; 16 - крылышки 0301001

Рисунок А.5 – Крылья

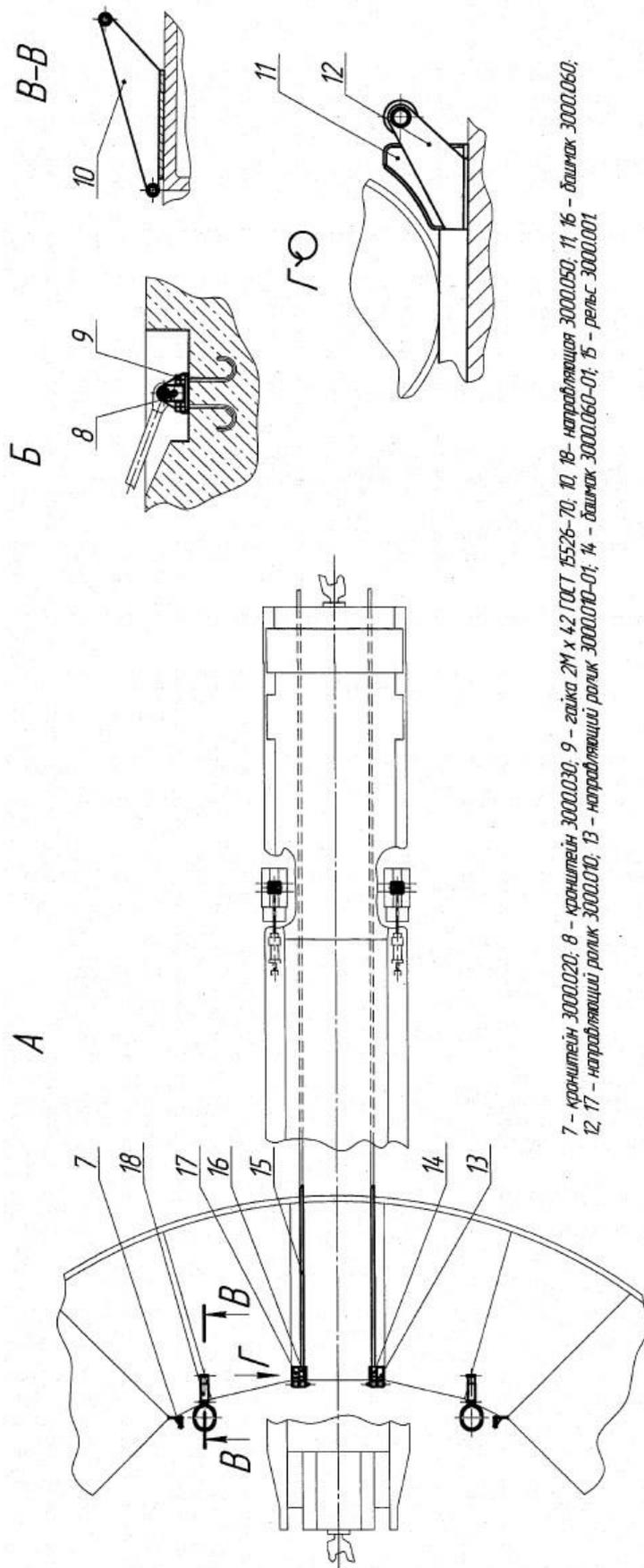
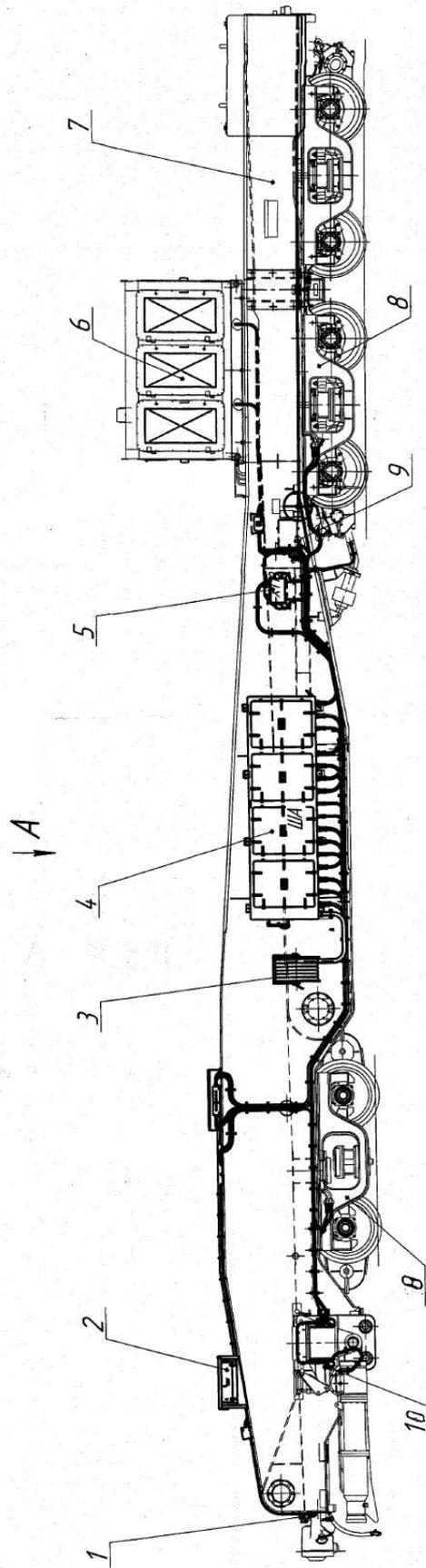


Рисунок А.6 – Оборудование площадки



1 – редуктор; 2 – пульт управления №1; 3 – катушка кабельная; 4 – шкаф аппаратурный; 5 – соединительные ящики; 6 – насосные установки; 7 – платформа; 8, 10 – самоходные тележки; 9 – ящик резисторов; 10 – светильники.

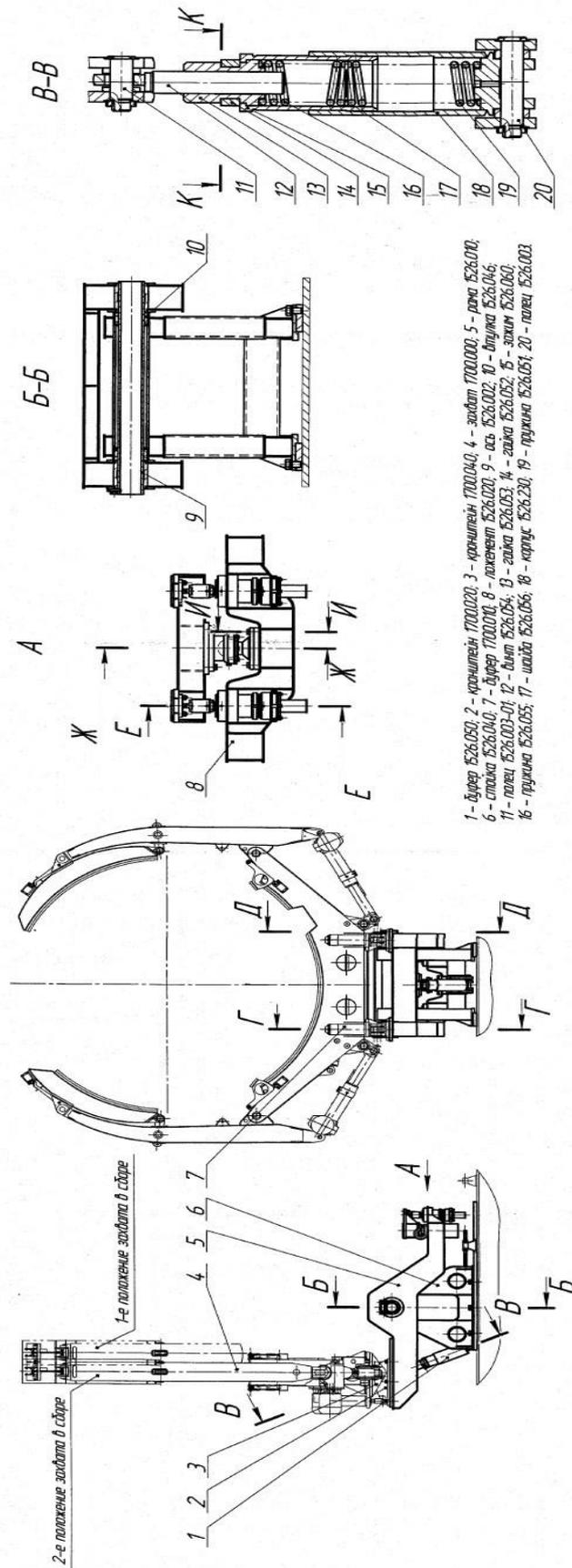


Рисунок А.8 – Верхняя опора

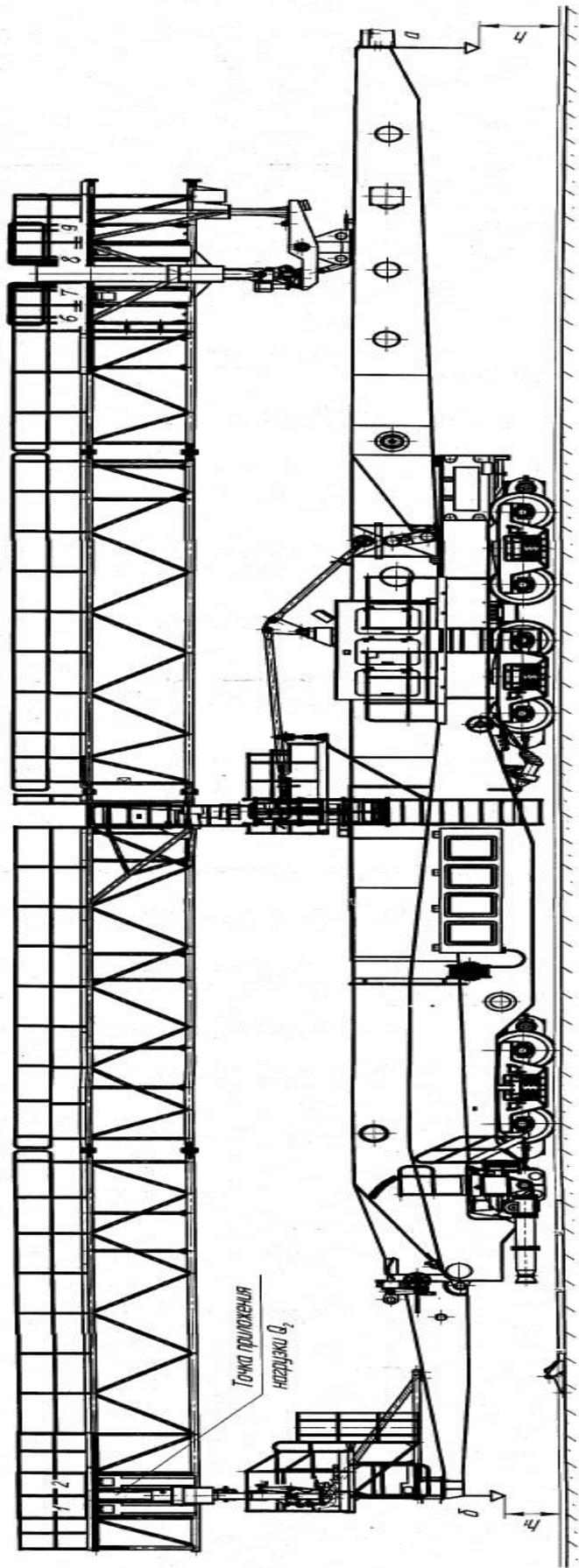


Таблица расположения грузов в ящиках грузовой тележки при различных вариантах загрузки

Годичное испытание	№ ячеек грузовой тележки		№ ячеек							
	Вариант №1	Вариант №2	1	2	3	4	5	6	7	8
Длинные столбы	—	3200.060 (1750 кг)	3200.070 (1750 кг)	3200.070 (1750 кг)	—	—	—	—	3200.070 (1750 кг)	3200.080 (1750 кг)
Короткие столбы	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Рисунок А.9 – Схема испытания агрегата под РН Союз-2-1в

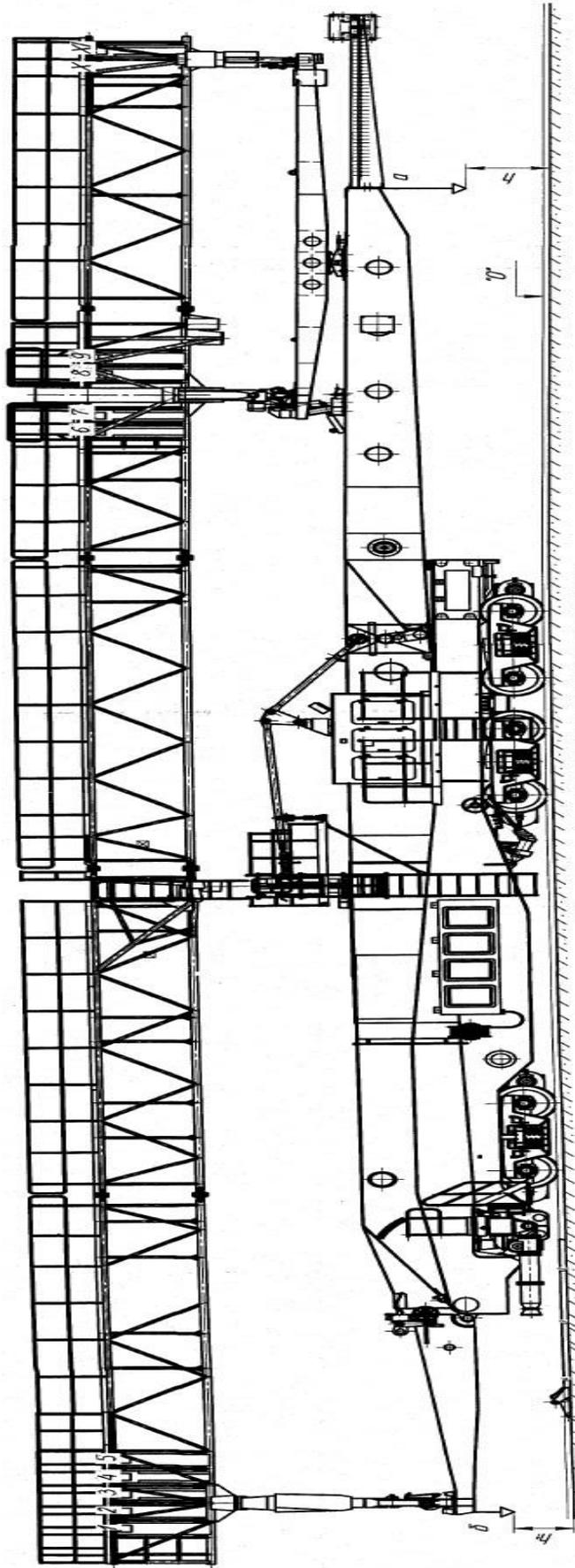
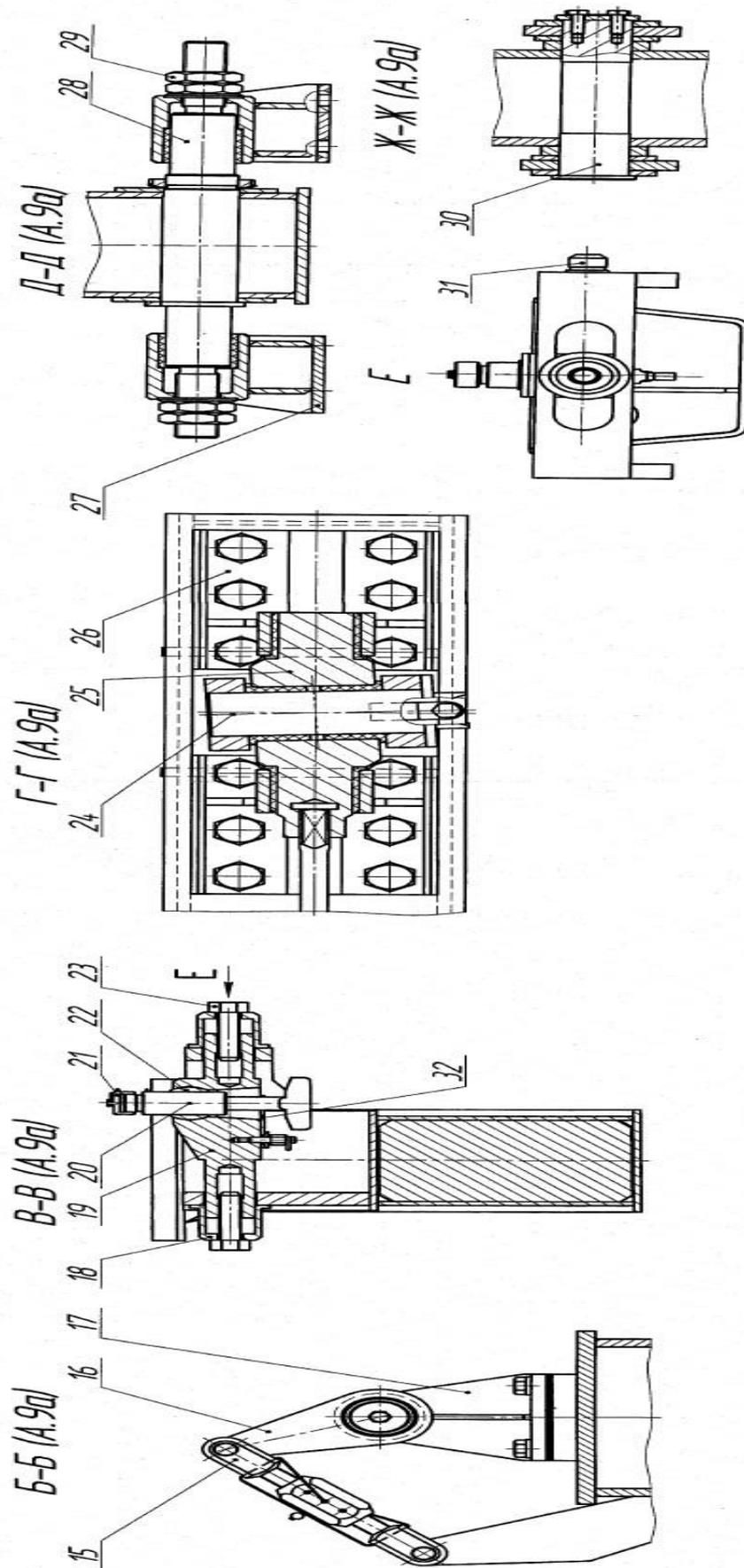


Таблица расположения грузоб. в тельерах грузозащ. механизма при различных вариантах загрузки

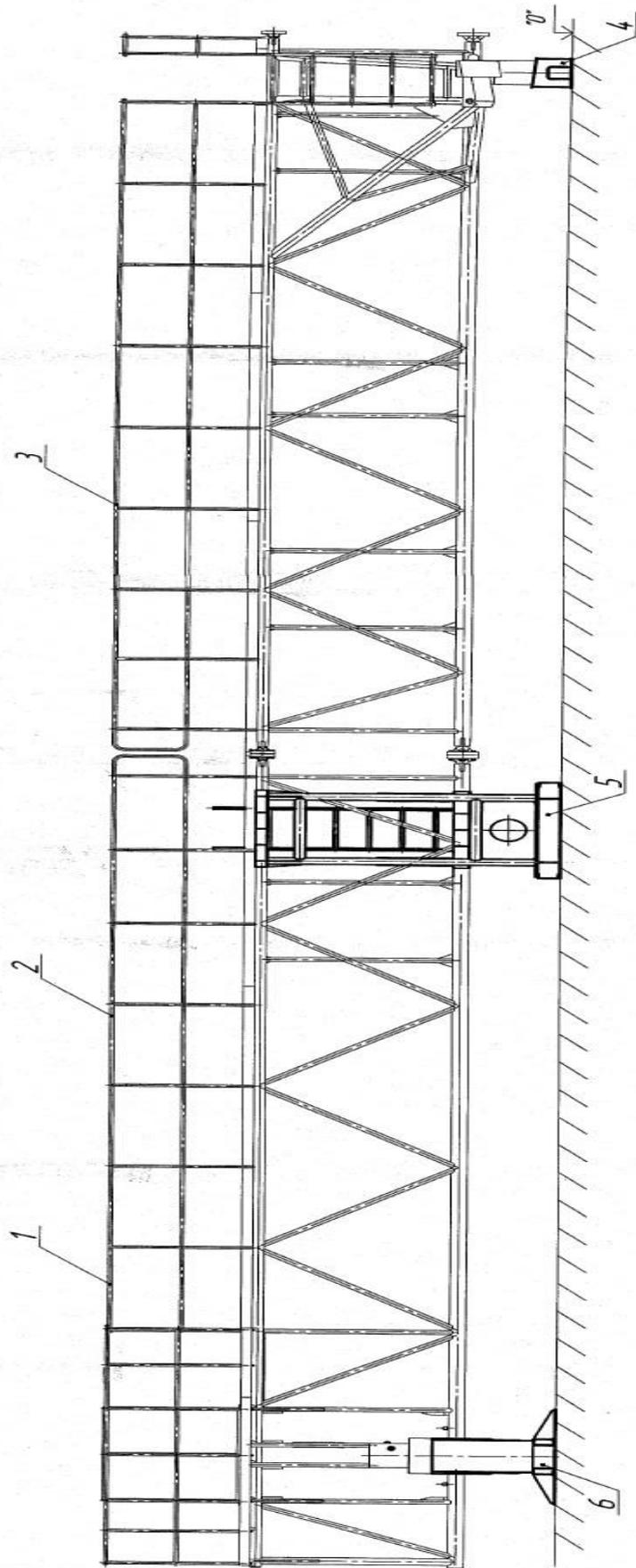
Вариант загрузки	Варианты загрузки											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Средние варианты	320000	320000	320000	320000	320000	320000	320000	320000	320000	320000	320000	320000
Вариант №1	5300 кд	5300 кд	5300 кд	5300 кд	5300 кд	5300 кд	5300 кд	5300 кд	5300 кд	5300 кд	5300 кд	5300 кд
Вариант №2	320000	320000	320000	320000	320000	320000	320000	320000	320000	320000	320000	320000
Вариант №3	5300 кд	5300 кд	5300 кд	5300 кд	5300 кд	5300 кд	5300 кд	5300 кд	5300 кд	5300 кд	5300 кд	5300 кд

Рисунок А.10 – Схема испытания агрегата под РН Союз-2-1а, 1б



5 - стержень 0501030; 16 - рычаг 0501110; 17 - кронштейн в сборе 0501040; 18 - стержень 0501042; 19 - пружина 0501043; 20 - штифт 0501047; 21 - кронштейн в сборе 0501250; 22 - болт М20х80 ГОСТ 7798-70;
 24 - ось 0501005; 25 - пружина в сборе 0501070; 26 - подшипник в сборе 0501090; 27 - кронштейн 0501140; 28 - ось 0501038; 29 - штифт М4,2 ГОСТ 5976-70; 30 - ось 0501003; 31 - штифт 0501048; 32 - болт 0501045.

Рисунок А.11 – Нижняя опора



1 - ферма нижняя 32001010; 2 - ферма 32001080; 3 - ферма 32001080; 3 - ферма 32001080; 4 - подставка 32001930; 5 - подставка 32001930; 6 - подставка 3200150-01

Рисунок А.12 – Установка фермы грузового макета на подставки

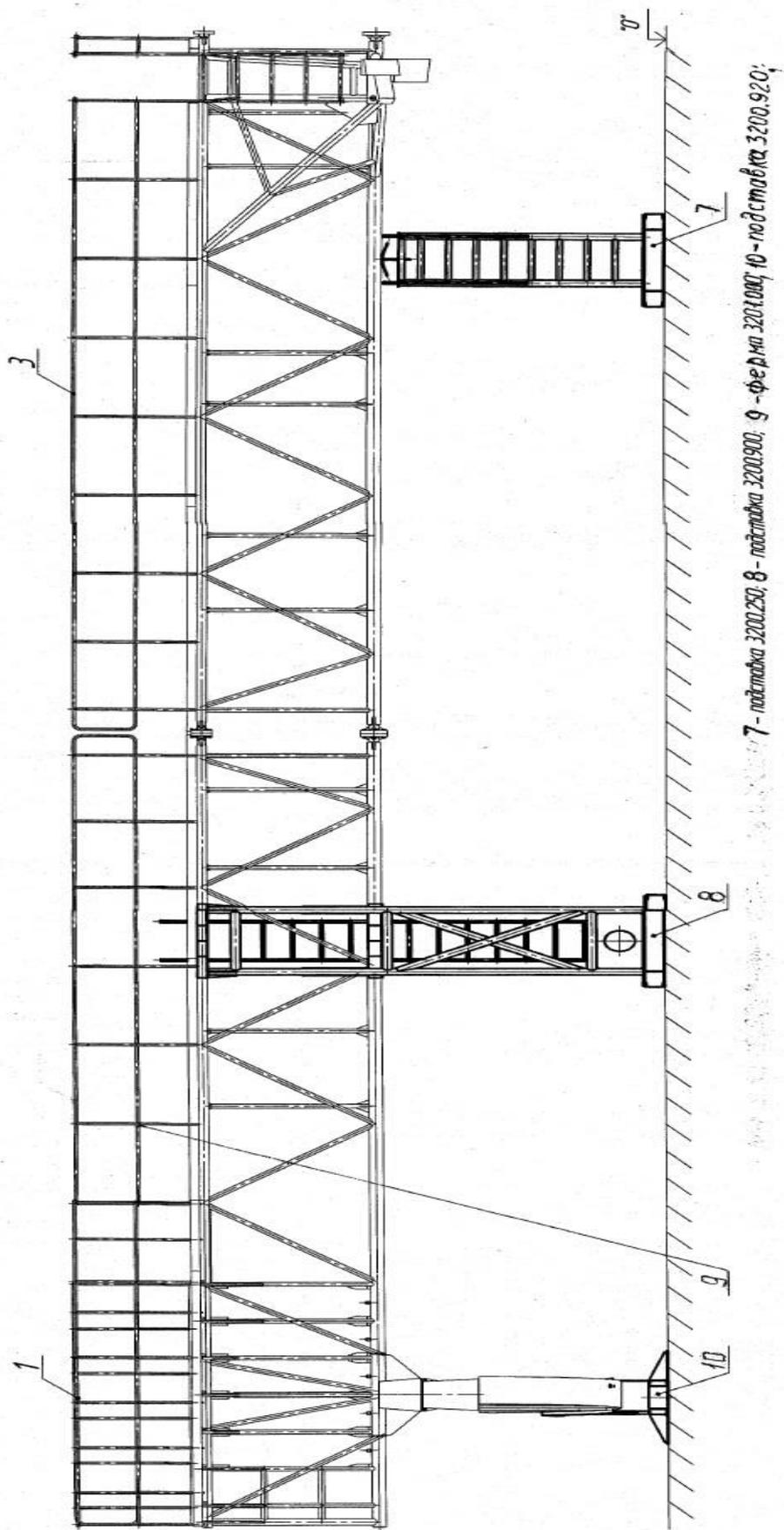


Рисунок А.13 – Установка фермы грузового макета на подставки

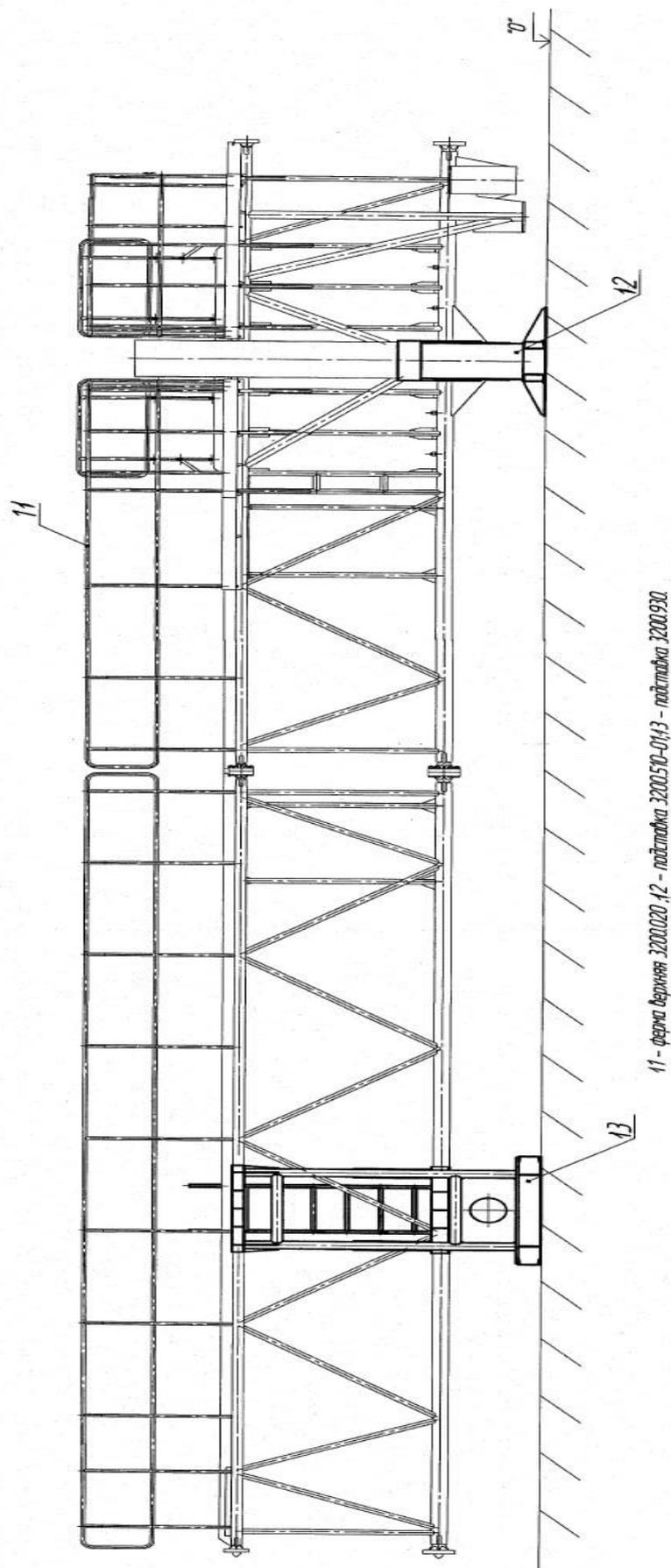
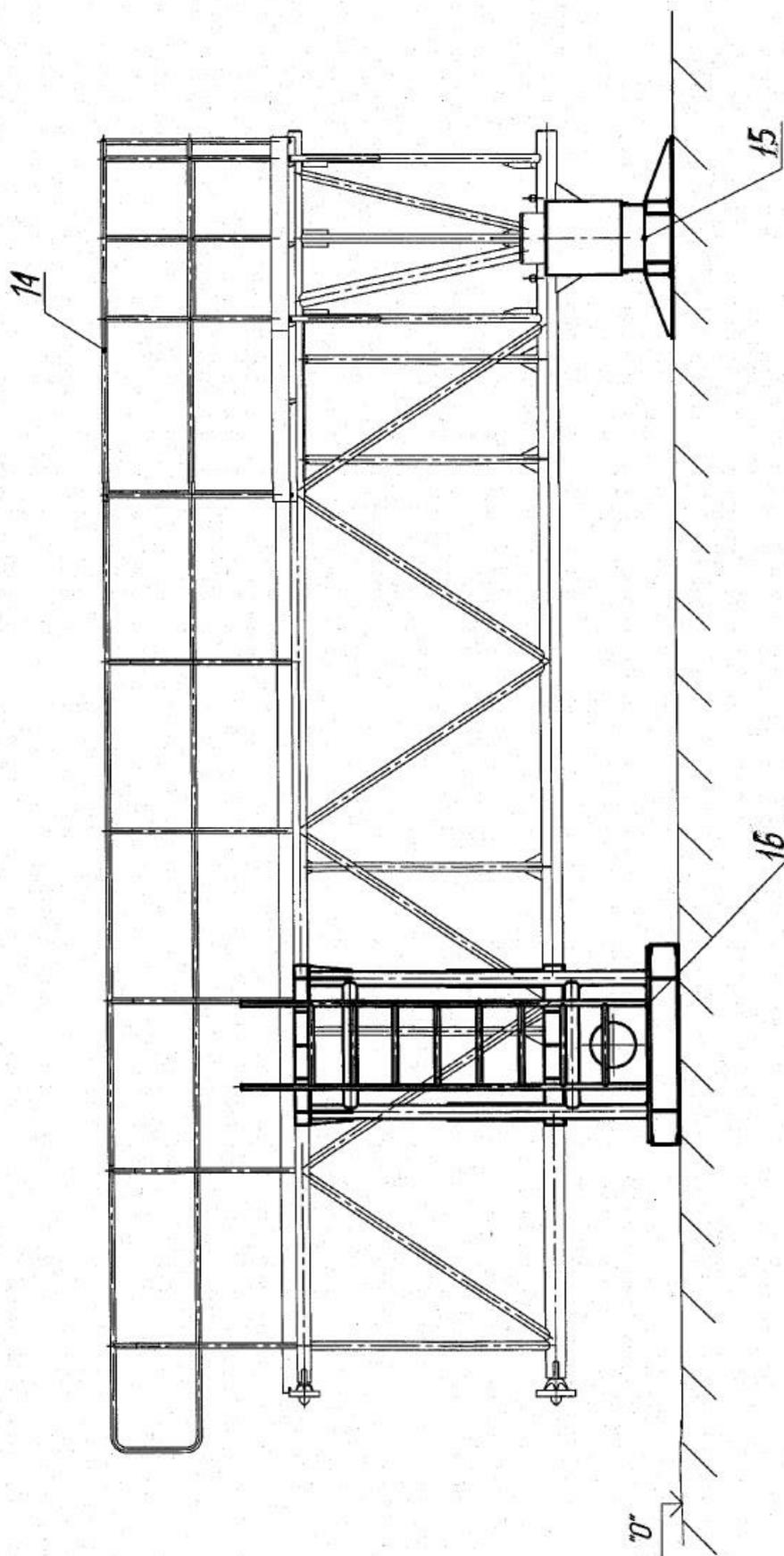


Рисунок А.14 – Установка фермы грузового макета на под-



14 – надставка 3202.000; 15 – подставка 3200.510; 16 – подставка 3200.930.

Рисунок А.15 – Установка фермы грузового макета на подставки