

# Серия внутривузовских методических указаний СибАДИ

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ)»

Кафедра «Эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин и комплексов в строительстве»

## МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЧАСОВОГО РАСХОДА ТОПЛИВА

*Методические указания к курсовому проектированию*

*Составители: Р.Ф. Салихов,  
И.К. Потеряев,  
В.П. Шаронов*

Омск ▪ 2018

УДК 625.76.08:622.323  
ББК 39.184.893  
М54

Согласно 436-ФЗ от 29.12.2010 «О защите детей от информации, причиняющей вред их здоровью и развитию» данная продукция маркировке не подлежит.

*Рецензент*

д-р техн. наук, проф. Н.С. Галдин (СибАДИ)

Работа утверждена редакционно-издательским советом СибАДИ в качестве методических указаний.

**М54 Методика расчета часового расхода топлива** [Электронный ресурс] : методические указания к курсовому проектированию / сост. : Р.Ф. Салихов, И.К. Потеряев, В.П. Шаронов. – (Серия внутривузовских методических указаний СибАДИ). – Электрон. дан. – Омск : СибАДИ, 2018. – Режим доступа:.....  
.....,свободный после авторизации. – Загл. с экрана.

Рассмотрены вопросы определения производительности экскаваторов, часового расхода топлива в зависимости от технических характеристик сравниваемых аналогов. Выполнение предложенных расчетов будет полезно для подготовки специалистов в сфере нормирования, учета и контроля расхода топлива при эксплуатации транспортно-технологических машин и оборудования.

Имеют интерактивное оглавление в виде закладок.

Предназначены для обучающихся всех форм по направлению «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» магистерской программы «Сервис транспортно-технологических машин и оборудования (нефтепродуктообеспечение и газоснабжение)» для выполнения курсового проекта по дисциплине «Формирование системы управления качеством технической эксплуатации машин, проблемы теории и практики».

Подготовлены на кафедре «Эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин и комплексов в строительстве».

Текстовое (символьное) издание (5,7 МБ)

Системные требования: Intel, 3,4 GHz; 150 Мб; Windows XP/Vista/7; DVD-ROM;  
1 Гб свободного места на жестком диске; программа для чтения pdf-файлов:  
Adobe Acrobat Reader; Foxit Reader

Техническая подготовка Н.В. Кенжалинова

Издание первое. Дата подписания к использованию

Издательско-полиграфический комплекс СибАДИ. 644080, г. Омск, пр. Мира, 5  
РИО ИПК СибАДИ. 644080, г. Омск, ул. 2-я Поселковая, 1

© ФГБОУ ВО «СибАДИ», 2018

## ВВЕДЕНИЕ

Методические указания составлены для студентов всех форм обучения направлений подготовки магистров «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» магистерской программы «Сервис транспортных и транспортно-технологических машин и оборудования (нефтепродуктообеспечение и газоснабжение)». Данные методические указания обеспечивают проведение практических занятий, курсового проектирования по учебной дисциплине «Формирование системы управления качеством технической эксплуатации ТТМО, проблемы теории и практики», а также выполнение курсового проекта при подготовке магистрантов.

Указания содержат описание, необходимые рекомендации и методику выполнения заданий, представлен перечень вопросов для проверки остаточных знаний студентов.

Предлагаемые задания позволяют впоследствии решать производственные задачи в эксплуатационных предприятиях, связанных с нормированием, контролем и учетом расхода топлива парков транспортно-технологических машин и оборудования (ТТМ).

После получения задания студенты должны подробно изучить настоящие методические указания, рекомендованный теоретический материал, ознакомиться с методикой расчета показателей работы строительных машин, на примере различных марок и модификаций одноковшовых экскаваторов.

В ходе выполнения практических заданий студент должен научиться рассчитывать усилия на режущей кромке поворотом рукояти и ковша, в процессе подъема рабочего оборудования, поворота платформы, разгрузки, возвращения рабочего оборудования в забой, определять производительность, расход топлива, энергоемкость для различных модификаций одноковшовых экскаваторов.

В результате освоения практических заданий студент должен приобрести следующие профессиональные компетенции:

готовность применять аналитические и численные методы решения поставленных организационно-управленческих задач, способность использовать языки и системы программирования для решения этих задач на основе технико-экономического анализа

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Одной из важнейших задач стоящих перед службами технической эксплуатации, технического сервиса является сокращение затрат на перерасход горюче-смазочных материалов. Причиной перерасхода топлива является его низкое качество, неисправности систем машин, жесткие природно-климатические условия (низкие температуры, мерзлый грунт), низкая квалификация машиниста.

В настоящее время все больше внедряется в систему учета расхода нефтепродуктов встроенных систем контроля. Недостатками существующих систем контроля является низкое качество передаваемого сигнала через спутниковые системы, что приводит к определенным погрешностям. Безусловным достоинством является слежение за расходом топлива в режиме он-лайн. К сожалению, зачастую данные системы пытаются обмануть злоумышленники, что приводит к ложным показаниям приборов, их высокой частоте отказов. Альтернативой в случае отказа таких систем может являться применение усредненных методик, позволяющих нормировать расход топлива. Применение разработанных норм расхода топлива на предприятиях является основой для распределения, учета и контроля нефтепродуктов.

Так, например, для расчета расхода топлива строительных машин применяется нормативный документ МДС 12-38.2007 «Нормирование расхода топлива для строительных машин», в котором учитываются различные факторы влияющие на расход топлива, это и номинальная мощность ДВС, удельный расход топлива, коэффициенты использования по времени, по мощности, учитывающий изменение удельного расхода топлива в зависимости от использования ДВС по мощности, износа, а также сумма поправочных коэффициентов на обкатку, стаж машиниста, температуру воздуха, стесненность условий работы, климатическую зону, дорожные условия, высоту над уровнем моря.

Несмотря на учет большого количества факторов, некоторые коэффициенты требуют оперативного корректирования с учетом местных условий эксплуатации, что позволит значительно повысить точность и сократить расход топлива. К числу таких показателей относятся показатели учитывающие интенсивность эксплуатации машин: коэффициенты использования по времени, по мощности и по грузоподъемности. На коэффициент использования по времени влияют такие факторы как организация выполнения производственных работ, продолжительность технического обслуживания, устранения внезапных отказов, природно-климатические и социально-экономические. Поэтому периодически необ-

ходимо осуществлять нормирование данного коэффициента с учетом местных условий.

Коэффициент использования машин по мощности приведенный в МДС 12-38.2007 для различных видов строительной техники не всегда соответствует фактическим, это связано с качеством топлива, техническим состоянием систем машин, грунтовыми условиями, температурой окружающего воздуха, квалификацией машиниста, конструктивными особенностями, технологии выполнения строительных работ, параметров объекта строительства.

В приведенных методических указаниях предлагается скорректировать коэффициент использования по мощности, удельный расход топлива в зависимости от частоты вращения коленчатого вала с учетом конструктивных особенностей машины (параметры рабочего оборудования), разрабатываемые категории грунта, технологии выполнения строительных работ, параметров объекта строительства (например, глубины копания).

Т.е. студент освоивший предлагаемую методику получит знания о том, как распределяется затрачиваемая энергия при выполнении различных технологических операций строительными машинами, почему у аналогичной машины затраты будут отличаться, с какой конструктивной особенностью это будет связано. Полученные знания позволят будущим специалистам лучше ориентироваться при выборе того или иного вида техники, выбора параметров навесного оборудования, влияющих на расход топлива.

## 2. ЗАДАНИЯ ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

*Практическое занятие № 1, 2.* Методика расчёта величины затрачиваемой работы при выполнении технологических операций одноковшового гидравлического экскаватора.

*Практическое занятие № 3, 4, 5.* Расчёт усилия на режущей кромке ЭО при копании грунта рукоятью.

*Практическое занятие № 6, 7.* Расчёт усилия на режущей кромке ЭО при копании грунта ковшом.

*Практическое занятие № 8.* Определение затрачиваемой мощности на выполнение операции копания ЭО.

*Практические занятия № 9, 10, 11.* Расчёт затраченной работы экскаватора ЭО -5126 на подъём рабочего оборудования с грунтом.

*Практические занятия № 12,13,14.* Расчёт мощности затрачиваемой на поворот платформы.

*Практические занятия № 15, 16.* Расчёт величины затраченной работы при выполнении технологической операции разгрузки ЭО-5126.

*Практические занятия № 17, 18.* Расчёт часового расхода топлива на примере технологической операции «разгрузка с учётом корректирования удельного расхода топлива по частоте вращения».

Расчёты целесообразно выполнять в среде MS Excel.

Задания для практических занятий разработаны для дисциплины «Формирование системы управления технической эксплуатацией машин. Проблемы теории и практика».

Чертежи рекомендуется выполнять в Компас-3D.

### **3. ЗАДАНИЕ ДЛЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ**

#### **3.1. Цели и задачи**

Курсовой проект - самостоятельная работа, которая предусматривает систематизацию, закрепление и углубление знаний по конкретной дисциплине.

В процессе выполнения курсового проекта необходимо выбрать наиболее рациональное решение поставленной задачи и показать умение пользоваться учебными пособиями, справочниками, периодической литературой, освоить методику расчетов.

Принимаемые решения должны быть прогрессивными и, как правило, приводить к повышению точности получаемых значений технико-экономических показателей.

Важной особенностью курсового проектирования является его практическая значимость: возможность использования полученных результатов в условиях реального производства. Оценка силовых показателей строительных машин в заданных технических условиях позволяет заранее прогнозировать расход топлива.

При этом эксплуатанты должны учитывать особенности условий эксплуатации техники, характеризующиеся геометрическими параметрами объектов строительства (глубина, ширина, длина) траншеи под трубопровод, котлована для подземного резервуара, удельным сопротивлением копания грунта и др. В процессе эксплуатации учет расхода топлива производится согласно существующим нормативным документам, однако как практика показывает необходимо применять дополнительные коэффициенты корректирования, учитывающие режимы нагрузки техники.

### **3.2. Организация работы при выполнении курсового проекта**

Учебным планом для выполнения курсового проекта по конкретной дисциплине предусмотрены определенные сроки. Руководитель проекта, выдает каждому студенту индивидуальное задание на курсовой проект, и в ходе проведения практических занятий объясняет суть поставленных задач, поясняет приведенные методы расчета эксплуатационных показателей. Затем осуществляются индивидуальный прием и защита курсового проекта. К заданию предъявляются следующие требования:

конкретность вопросов, подлежащих разработке;

полнота исходных данных, необходимых для выполнения курсового проекта;

актуальность вопросов, разрабатываемых в курсовом проекте, и их соответствие современным потребностям эксплуатирующих организаций.

После выдачи задания преподаватель рассказывает о задачах курсового проекта по данной дисциплине, его значении для подготовки специалиста в данной области, об объеме и содержании проекта, а также о методике его выполнения.

Курсовой проект включает графический материал и расчетно-пояснительную записку. Работа над графическим материалом и составление расчетно-пояснительной записки должны вестись поэтапно, изначально проводятся расчеты для номерных заданий, а затем студентами производится графическое оформление полученных результатов.

### **3.3. Оформление курсового проекта и требования по стандартизации, унификации и нормализации**

При выполнении курсового проекта (графической части и расчетно-пояснительной записки) необходимо строго придерживаться требований Государственных стандартов.

*Графическая часть* проекта выполняется на 2 листах чертежей формата А1 на компьютере в полном соответствии с требованиями «Единой системы конструкторской документации». Каждый формат чертежа должен иметь рамку с полями с левой стороны - 20 мм, справа, снизу и сверху - по 5 мм.

В правом нижнем углу каждого формата от линии рамки помещают основную надпись (угловой штамп).

Чертежи, размеры, обозначения и надписи на них выполняют в соответствии с требованиями ЕСКД (ГОСТ 2.109-73).

Схемы выполняют согласно требованиям ГОСТ 2.701-84, ГОСТ 2.702-75, ГОСТ 2.703-68, ГОСТ 2.704-76, ГОСТ 2.705-70, ГОСТ 2.721-74, ГОСТ 2.770-68, ГОСТ 2.780-96, ГОСТ 2.782-96, ГОСТ 2784-96, ГОСТ 2.785-70.

Штампы вычерчивают по ГОСТ 2.104-68. Масштабы чертежей принимают в соответствии с ГОСТ 2302-68, толщину линий по ГОСТ 2303-68, шрифты подписей - по ГОСТ 2304-81, а сами подписи - по ГОСТ 2316-68.

Изображения выполняются в соответствии с ГОСТ 2305-68 и ГОСТ 2306-68, аксонометрические проекции - по ГОСТ 2317-69.

Размеры и отклонения от них обозначают по системе ИСО в соответствии с СТ СЭВ 144-75, СТ СЭВ 145-75.

*Пояснительную записку* оформляют на одной стороне листов белой бумаги формата А4 (297 х 210 мм) в соответствии с ГОСТ 2.104-68 и ГОСТ 2105-95. На каждом листе выполняют рамку с полями: слева 20 мм, с остальных сторон - 5 мм. Объем записки составляет 20...25 страниц. В соответствующих местах текста делают ссылки на чертежи и отдельные позиции на них. На каждом листе, кроме титульного, вычерчивают штамп в соответствии с ГОСТ 2.104-68: на первом листе - высотой 40 мм, на остальных - 15 мм.

Записка может быть выполнена на компьютере (шрифт Times New Roman 14). Изложение должно быть ясным, конкретным, с соблюдением правил орфографии и пунктуации. Все расчеты выполняют в системе СИ. Общепринятые сокращения допускается не расшифровывать. Сокращения, применяемые студентами, должны быть расшифрованы, когда впервые встречаются в тексте. Следует использовать общепринятую техническую терминологию, нельзя применять разные термины для обозначения одного и того же понятия. Рисунки или фотографии должны быть пронумерованы (если их несколько) и иметь подписи. Таблицы также должны иметь нумерацию (если их несколько) и названия. Формулы, приводимые в тексте, нумеруют, чтобы облегчить ссылки на них. При использовании литературных, технических и патентных источников, а также формул необходимо давать ссылку в квадратных скобках на соответствующие источники. Список использованной литературы по ГОСТ 7.1-2003 может быть дан в алфавитном порядке или в соответствии с последовательностью ссылок, но более удобен и принят в технической литературе алфавитный порядок. Список литературы оформляют так же, как список литературы данных методических указаний.

*Модификация* - качественно различные состояния или разновидности чего-либо, в частности, техники для обслуживания нефтегазовых объектов.



Как правило, новая модификация технически более совершенна предыдущих аналогов по таким свойствам как эксплуатационной надежности, проходимости, топливной экономичности, тягово-сцепным, устойчивости, эргономичности. Технический и экономический эффекты достигаются за счет совершенствования конструкции отдельных систем машины: рабочего оборудования, ходовой части, силовой установки и др. *Агрегатирование* - это метод создания машин (оборудования), основанный на геометрической и функциональной взаимозаменяемости отдельных сборочных единиц, каждая из которых может быть использована при создании различных модификаций (исполнений) машин (оборудования).

Важнейшим преимуществом агрегатированных машин (оборудования) является их конструктивная обратимость и возможность многократного использования стандартных сборочных единиц в новых компоновках при изменении конструкции объектов производства.

Стандартизация является основой унификации, агрегатирования, широкого развития специализации и кооперирования производства.

Модификации экскаваторов отечественного и зарубежного производства различаются между собой параметрами рабочего оборудования (длина стрелы, рукояти, вместимость ковша), габаритными размерами, массой противовеса, длиной гусеничной тележки, мощностью силовой установки и др.

Эксплуатант на этапе выбора техники для производства работ должен его осуществлять на основе технико-экономических показателей с одной стороны и технологических требований строительства объектов с другой стороны. Например, при строительстве и ремонте трубопроводов необходимо учитывать проходимость техники при работе на заболоченных участках, при ремонте трубопровода в стесненных условиях, необходима техника с укороченной базой противовеса, использование экскаватора, как многоцелевой машины, в режиме крана, гидромолота, бура – все эти требования повышают сложность выбора, но при этом значительно сокращают будущие затраты на эксплуатацию. В данном курсовом проекте акцент произведен на выбор модификации по технико-экономическим показателям, таким как: производительность, энергоемкость, удельные приведенные затраты.

### **3.4. Получение задания на курсовой проект**

Студент получает у руководителя проекта вариант задания, где указываются тип машины, производительность на грунте определенной категории, некоторые технические данные (например, радиус копания у экскаваторов и высота выгрузки у погрузчиков), транспортная скорость и рас-

считываемая деталь. Задание дается под серийную машину, которую студент выбирает на первой стадии работы; дальнейшие расчеты проводят, ориентируясь на параметры выбранной машины.

В задании учитываются последние достижения науки и техники в области строительного и дорожного машиностроения, в качестве приложения могут даваться вырезки из технической и патентной литературы. Студент может сам предложить тему курсового проекта с учетом дальнейшей трудовой деятельности или интересующей его тематики. Если тема окажется достаточно сложной и трудоемкой, то по усмотрению преподавателя возможна работа над одним проектом двух и более студентов. Возможны также комплексные проекты, которыми дополнительно руководят преподаватели с других кафедр. При желании можно принять курсовой проект в качестве основы для дипломной работы. Задание на проект без подписи руководителя **считается недействительным**, и проект с таким заданием (или без него) **не может быть принят**.

Бланк задания (форма бланка приведена ниже) подшивают в пояснительную записку после титульного листа.

Исходные данные по марке выбираемой техники приведены в прил. 1 (свой вариант определите по номеру в зачетной книжке).

*Задание 1.* 1. Определение возможных усилий на режущей кромке ковша при копании поворотом рукояти и ковша одноковшовым экскаватором

*Задание 2.* Определение величины затрачиваемой работы при подъеме рабочего органа (прил. 3).

*Задание 3.* Определение величины затрачиваемой работы при повороте платформы с грузенным и порожним ковшом экскаватора

*Задание 4.* Определение величины затрачиваемой работы экскаватора при разгрузке грунта в автосамосвал

*Задание 5.* Расчет часового расхода топлива одноковшового экскаватора для различных его модификаций (прил. 4).

Проанализировав результаты расчетов, приведенных в заданиях 1–6, студенту необходимо провести сравнительный анализ по полученным данным согласно действующей нормативной методике по расчету часового расхода топлива и предложенной с учетом дополнительных параметров: математических ожиданий давления в гидросистеме и частоте вращения коленчатого вала при выполнении различных видов технологических операций цикла экскавации.

Расчеты целесообразно выполнять в среде *MS Excel*, либо в другом программном продукте.

Курсовой проект выполняется по дисциплине «Формирование системы управления технической эксплуатации ТТМ и нефтегазового оборудования. Проблемы теории и практики» с целью закрепления теоретического материала, приобретения навыков организации и планирования уче-

та часового расхода топлива землеройной техники, применения справочно-нормативной литературы и государственных стандартов, повышения точности нормирования часового расхода топлива.

Таблица 1

**Наименования разделов курсовой работы**

Номер раздела	Наименование раздела курсовой работы
1	1. Определение возможных усилий, затрат работы на режущей кромке ковша при копании поворотом рукояти и ковша одноковшовым экскаватором различных модификаций
2	2. Определение величины затрачиваемой работы при подъеме рабочего органа
3	3. Определение величины затрачиваемой работы при повороте платформы экскаватора с грузом в ковше и на возврат в забой
4	4. Определение величины затрачиваемой работы экскаватора при разгрузке грунта в автосамосвал
5	5. Расчет часового расхода топлива одноковшового экскаватора для различных модификаций

Таблица 2

**Структура курсового проекта**

№ раздела	Объем		Литература
	графическая часть	текстовая часть	
–	–	Введение 1–2 стр.	–
1	2 листа формата А1	10–12 стр.	[1, 4, 5, 9, 12]
2		7–8 стр.	
3		7–8 стр.	
4	1 листа формата А3	7–8 стр.	
5		7–8 стр.	
6		5–6 стр.	
-	–	Заключение 1–2 стр.	–
-	–	Список литературы стр. 1	–
итого	2 листа формата А1	От 43 до 50 стр. формата А4	–

**Содержание расчетно-пояснительной записки курсового проекта (перечень подлежащих разработке вопросов)**

*Введение*

Обосновывается актуальность работы. Формулируются тема, цели. Оформляются в виде таблиц задание для назначенного номера и варианта, а также полностью заполненная таблица исходных данных для последующего выполнения расчетов, построения графиков изменения усилий

от положения рабочего оборудования при выполнении различных видов технологических операций цикла экскавации. Приводится техническая характеристика вида ТТМ согласно варианту. Объем 4–3 листа.

*Раздел 1.* Определение возможных усилий на режущей кромке ковша при копании поворотом рукояти и ковша одноковшовым экскаватором различных модификаций. Приводится методика расчета усилий копания поворотом рукояти одноковшовым экскаватором. Строятся графические зависимости изменения усилий, плечей при различных положениях рабочего оборудования. Объем 10 – 12 листов.

*Раздел 2.* Определение величины затрачиваемой работы при подъеме рабочего органа. Приводится методика расчета величины затрачиваемой работы на операцию подъем груженного ковша гидравлического экскаватора из забоя и графические зависимости изменения данного показателя в зависимости от высоты подъема рабочего оборудования. Объем 7 – 8 листов.

*Раздел 3.* Определение величины затрачиваемой работы при повороте платформы экскаватора с груженым ковшом и возврате в забой

Приводится методика расчета величины затрачиваемой работы при выполнении технологической операции «поворот платформы с груженым ковшом» и при выполнении технологической операции «возвращение экскаватора в забой». Строится графическая зависимость изменения величины затрачиваемой работы экскаватора от угла поворота платформы с груженым и порожним ковшом. На листе А 1 приводится схема поворота платформы экскаватора с груженым и порожним ковшом. Объем 7– 8 листов.

Строится графическая зависимость изменения величины затрачиваемой работы экскаватора в зависимости от угла поворота платформы. На листе А 1 приводится схема поворота платформы экскаватора. Объем 8– 10 листов.

*Раздел 4.* Определение величины затрачиваемой работы экскаватора при разгрузке грунта в автосамосвал.

Приводится методика расчета величины затрачиваемой работы при выполнении технологической операции «разгрузка грунта в автосамосвал». Строится графическая зависимость изменения величины затрачиваемой работы экскаватора в зависимости от положения рабочего оборудования при разгрузке грунта в автосамосвал. На листе А 1 приводится схема разгрузки экскаватора. Объем 8– 10 листов.

*Раздел 5.* Расчет часового расхода топлива одноковшового экскаватора для различных его модификаций.

Определяется коэффициент использования по мощности с учетом полученных величин затраченной мощности на различных видах технологических операций, после чего производится расчет часового расхода топлива. Далее используя нормативный документ МДС 12-38.2007 определяется нормативный часовой расход топлива без учета корректирования коэффициента использования по мощности, после чего производится сравнение скорректированного и нормативного часового расхода топлива.

Пример расчета для технологических операций экскаватора рекомендуется приводить только для одного положения, а остальные результаты расчета оформлять в виде таблицы для оставшихся рабочих положений. Объем графической части 1 лист формата А 1. Объем 8 – 9 листов.

*Заключение.*

Содержатся основные выводы по работе. Объем 1 – 2 листа.

Приводится список использованных источников. Объем 1 лист.

Разработанные задания научат студентов самостоятельно и в составе коллектива определять часовой расход топлива с учетом выполнения машинами различной энергоемкости технологических операций, при этом учет параметров режимов нагрузки позволит повысить точность расчета данного технико-экономического показателя по отношению к результату, получаемому с использованием существующей нормативной методики.

*Список литературы.*

Приводятся основные источники литературы, которыми студент пользовался при написании курсового проекта, и подготовке к его защите.

Бланк задания на курсовой проект  
 Федеральное государственное бюджетное образовательное  
 учреждение высшего профессионального образования  
 «Сибирский государственный автомобильно-дорожный  
 университет (СибАДИ)»

Факультет «Нефтегазовая строительная техника»  
 Кафедра « Эксплуатация и сервис транспортно – технологических машин  
 и комплексов в строительстве»

Студент \_\_\_ курса \_\_\_\_\_

(фамилия, имя, отчество)

Задание на курсовой проект по дисциплине: «Формирование системы  
 управления качеством технической эксплуатации ТТМО, проблемы теории и  
 практики»

ТЕМА ПРОЕКТА \_\_\_\_\_  
 ДАННЫЕ \_\_\_\_\_

Состав проекта	Количество листов	Содержание
1. Чертежи (формат А1): Схема копания рукоятью Схема копания ковшом Схема подъема рабочего органа Схема поворота платформы с груженым ковшом Схема разгрузки ковша ЭО Схема возврата ЭО в забой Графические зависимости часового расхода топлива, про- изводительности 2. Пояснительная записка (формат А4)	1,0           1,0           35...40	Состояние вопроса 1. Определение возможных уси- лий на режущей кромке ковша при копании поворотом рукояти и ковша одноковшовым экскава- тором различных модификаций 2. Определение величины затра- чиваемой работы при подъеме рабочего органа экскаватора 3. Определение величины затра- чиваемой работы при повороте платформы экскаватора 4. Определение величины затра- чиваемой работы экскаватора при разгрузке грунта в автоса- мосвал 5. Определение величины затра- чиваемой работы экскаватора на возврат в забой 6. Расчет часового расхода топ- лива одноковшового экскаватора для различных модификаций Заключение Список литературы
Стадии проекта	Сроки вы- полнения	
1. Исходные данные 2. Расчетная часть 3. Чертежи		
Дата выполнения задания на КП		
Дата защиты проекта		
Руководитель проекта _____ подпись		

## 4. РАСЧЕТ ВЕЛИЧИНЫ ЗАТРАЧИВАЕМОЙ МОЩНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ОДНОКОВШОВОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА

### 4.1 Определение затрат мощности экскаватора на копание

Для определения мощности необходимой для копания воспользуемся следующей формулой [12]:

$$N_k = P_k^{cp} \cdot v_k \quad (1)$$

где  $P_k^{cp}$  - среднее усилие на режущей кромке, кН;  $v_k$  - скорость движения кромки ковша в момент реализации максимального усилия копания грунта, м/с.

Гидравлическими одноковшовыми экскаваторами, оборудованными обратной лопатой, грунт копают тремя способами: поворотом рукояти (при неподвижной стреле) или поворотом ковша (при неподвижных стреле и рукояти), или поворотом стрелы. Однако копание поворотом стрелы осуществляется крайне редко и он не рассматривается.

Для определения среднего усилия на копание необходимо учитывать долевое соотношение между копанием грунта рукоятью и ковшом.

Далее рассчитаем среднее усилие на режущей кромке при учете того что, работа рукоятью составляет в среднем 33 % от всего времени копания, а поворотом ковша 67 %. Данные соотношения были получены при наблюдении за работой экскаваторов при эксплуатации [14].

Изначально проведем расчеты для копания рукоятью, а затем для копания ковшом.

При расчете данных, принято следующее положение главных осей: ось  $x$  проходит на уровне опорной поверхности и направлена в сторону переднего моста; ось  $z$  направлена вверх по оси вращения поворотной платформы, ось  $y$  направлена влево. Координаты центров тяжести сборочных единиц рабочего оборудования показаны на рис. 1.

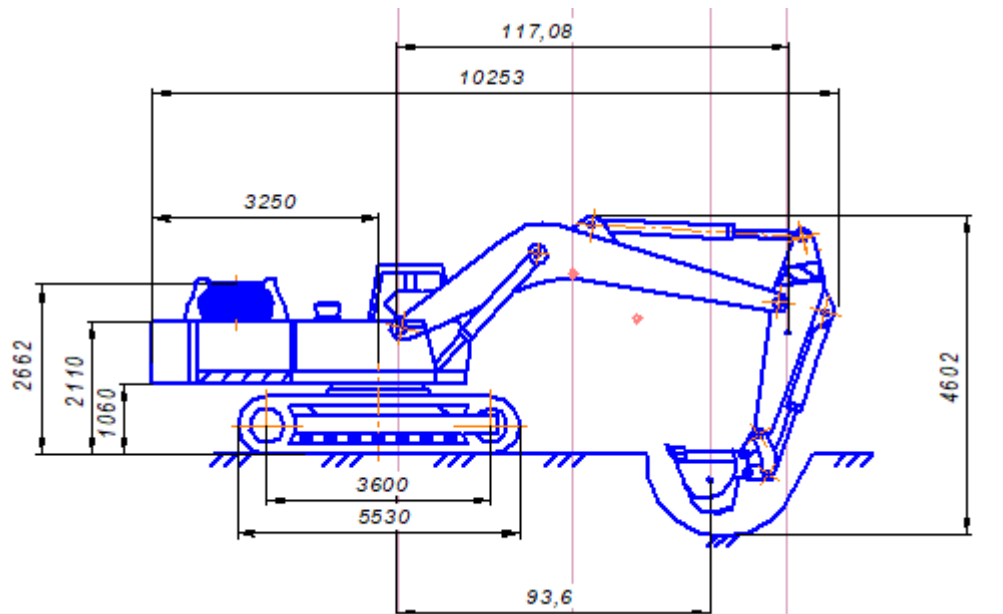


Рис. 1. Основное положение экскаватора с указанием центров тяжести сборочных единиц рабочего оборудования

В соответствии с расчетной схемой, плечо определяем графически (рис. 2). Таким образом, путь копания  $l_{\text{коп}}$  определим по следующей формуле [12]:

$$l_{\text{коп}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot l_{\text{к}}^B \cdot \beta_p}{360} \quad (2)$$

где  $\beta_p$  - угол поворота рукояти, град.;  $l_{\text{к}}^B$  - сумма длины ковша и части длины рукояти от оси шарнира ее крепления со стрелой до оси крепления ее с ковшом, м.

Определим возможные усилия на режущей кромке ковша при копании поворотом рукояти. При расчете принимаем, что гидроцилиндр рукояти развивает постоянное рабочее усилие в зависимости от номинального рабочего давления [12]:

$$P_{\text{цр}} = p_{\text{раб}} \cdot F_{\text{цр}} \quad (3)$$

где  $p_{\text{раб}}$  - рабочее давление, возникающее в гидроцилиндре рукояти, МПа;  $F_{\text{цр}}$  - площадь гидроцилиндра, м<sup>2</sup>.



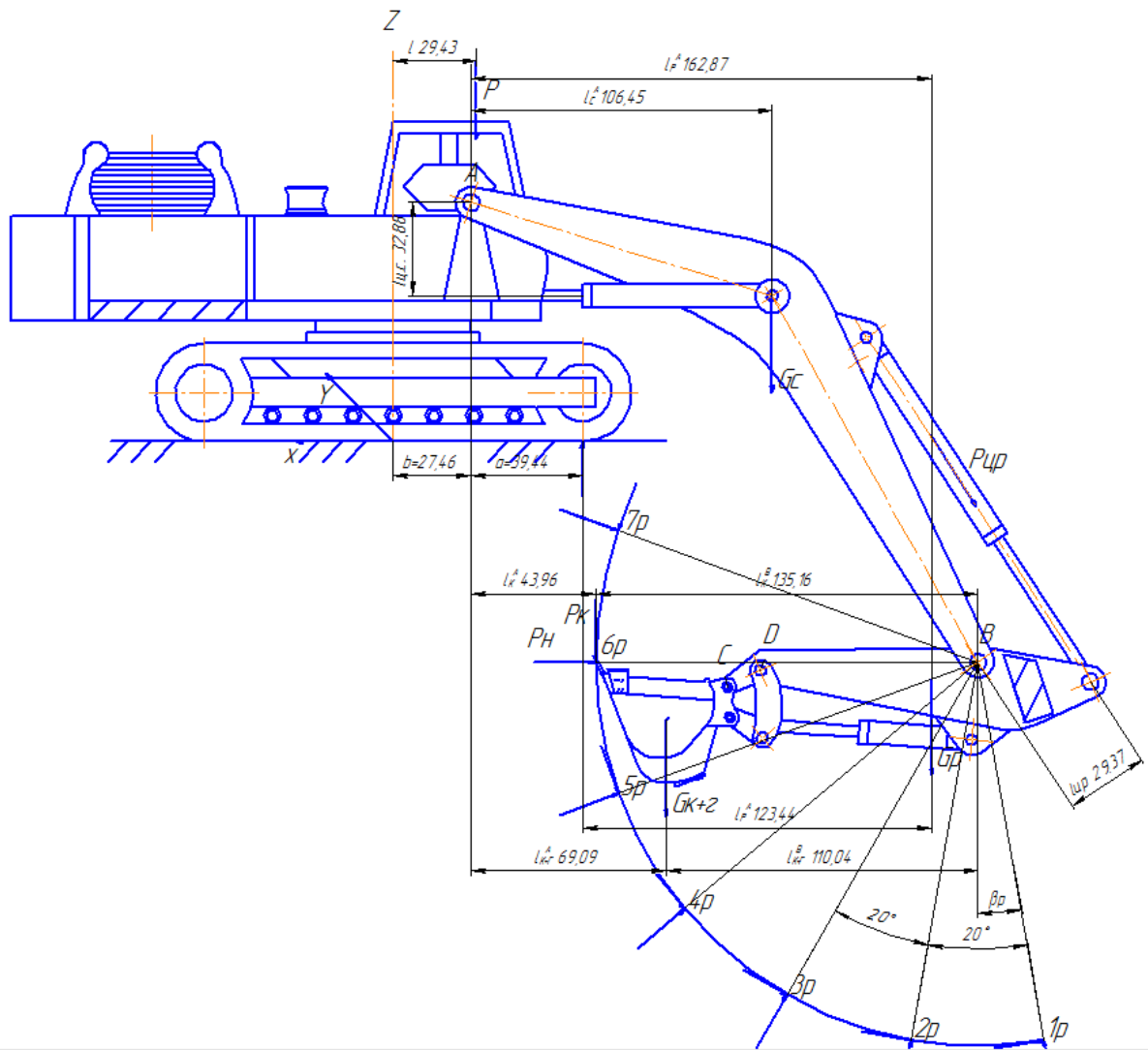


Рис. 2. Схема к определению касательных усилий на режущей кромке ковша экскаватора при копании поворотом рукояти

Зная диаметр поршня гидроцилиндра, можно найти площадь поршня гидроцилиндра[12].

$$F_{цр} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (4)$$

Из суммы моментов относительно точки В на рис. 4 найдем касательное усилие на режущей кромке ковша по усилию цилиндра рукояти[12]:

$$P_k = \left( \frac{1}{l_k} \right) \cdot [P_{цр} \cdot l_{ур} - (G_p \cdot l_p + G_{к+г} \cdot l_{к+г})] \quad (5)$$

Плечи сил определяем графически по рис. 4.

По такой же методике рассчитывается усилие на режущей кромке при копании поворотом ковша.

Расчетное положение рабочего оборудования (рис. 2): стрела предельно опущена, а рукоять отвернута.

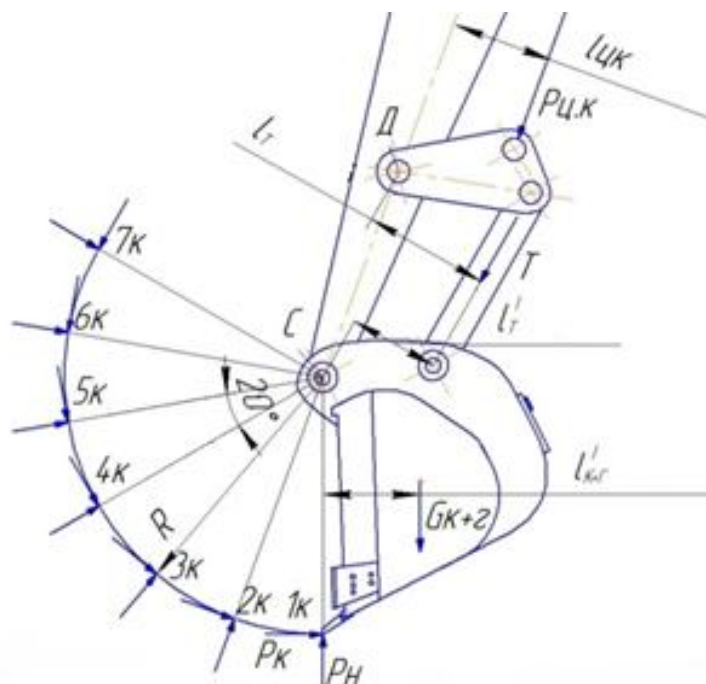


Рис. 3. Схема к определению касательных усилий на режущей кромке при копании поворотом ковша

В цилиндре ковша с площадью поршня  $F$  ( $\text{м}^2$ ) действует давление  $P_H$ , МПа, и развивается усилие (кПа):

$$P_{цк} = 10^3 \cdot P_H \cdot F \quad (6)$$

Далее определим реактивное давление, возникающее в цилиндре ковша при копании поворотом ковша, исходя из суммы моментов относительно точки С (см. рис. 3).

$$P_k = \left( \frac{1}{R} \right) \cdot (T \cdot l_T - G_{к+г} \cdot l_{к+г}) \quad (7)$$

Из суммы моментов относительно точки D имеем:

$$T \cdot l_T = P_{цк} \cdot l_{цк} \rightarrow T = \frac{P_{цк} \cdot l_{цк}}{l_T} \quad (8)$$

Плечи сил определяем графически по рис. 3.

Далее рассчитывается среднее усилие на режущей кромке при учете того что, работа рукоятью составляет в среднем 33 % от всего времени копания, а поворотом ковша 67 %.

Среднее значение усилия на режущей кромке для копания рукоятью и ковшом определяется по следующей зависимости со значениями касательных усилий:

$$P_K^{cp.} = P_1^{P_{yк}} + P_2^{P_{yк}} + P_3^{Kов} + P_4^{Kов} + P_5^{Kов} + P_6^{Kов} + P_7^{Kов} \quad (9)$$

где 1,2...7 – порядковый номер позиции ковша или рукояти см. (рис. 3 и 3).

Скорость перемещения поршня при подаче рабочей жидкости в поршневую полость найдём по следующей зависимости

$$v_n = \frac{4Q_n}{\pi D^2} \quad (10)$$

где  $Q_n$  - подача насоса, м<sup>3</sup>/с;

$D$  - диаметр поршня гидроцилиндра.

Далее определим время подъема и поворота рабочего оборудования с груженным ковшом от точки выхода из забоя к месту разгрузки.

## 4.2 Определение работы, мощности на подъём рабочего оборудования с грунтом экскаватора

Перед тем, как определить необходимую работу разобьём весь цикл подъёма рабочего оборудования на несколько интервалов траектории движения для большей наглядности расчетов.

Затраченная работа определяется по формуле:

$$A_{под} = \frac{g \cdot \sum m_i \cdot h_i}{k_i} \quad (11)$$

где  $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$m_i$  - масса  $i$ -ого оборудования, т;

$h_i$  - плечо силы, м;

$k_i$  - механический КПД  $i$ -ого оборудования

$$k_i = \eta_{ш}^r \cdot \eta_{гц} \quad (12)$$

$\eta_{ш}^r$  - КПД одного шарнира (для смазанного шарнира  $\eta_{ш} \approx 0,95$ );  $r$  – количество шарниров ( $r=3$ );  $\eta_{гц}$  - механический КПД гидроцилиндра, учитывающий потери на трение в парах поршень-зеркало и шток - накидная гайка ( $\eta_{гц} \approx 0,98$ ).

Ниже на рисунках 4 и 5 представлены положения стрелы, рукояти и ковша при двух положениях подъема рабочего оборудования, начальном и конечном.

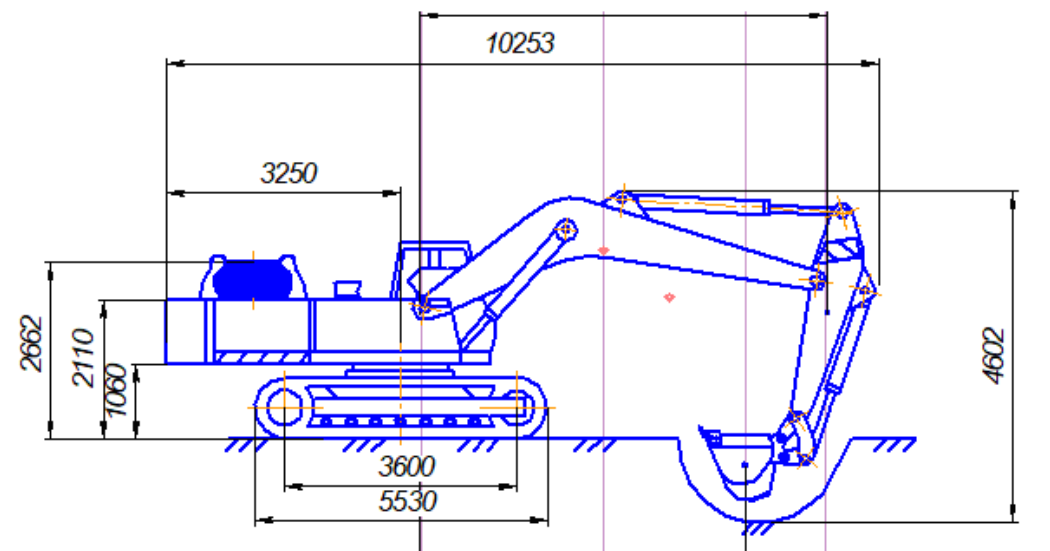


Рис. 4. Начальная позиция подъема рабочего оборудования экскаватора ЭО – 5126

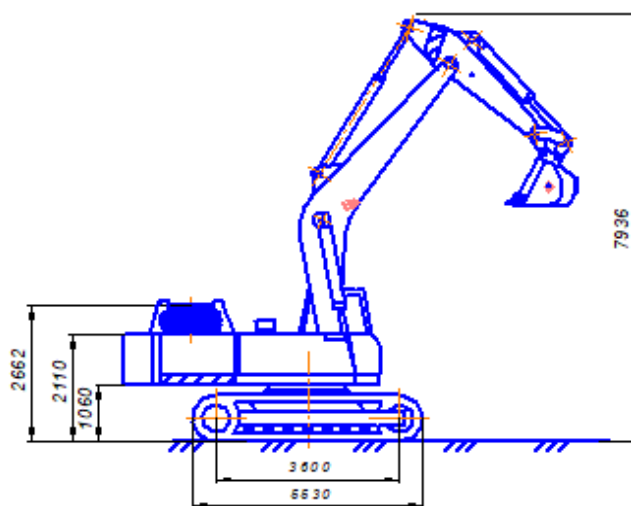


Рис. 5. Заключительная позиция подъема рабочего оборудования экскаватора ЭО – 5126

Учитывая перемещение различных элементов рабочего оборудования экскаватора, определяется суммарная величина затрачиваемой энергии машиной.

Далее определим скорость перемещения поршней гидроцилиндров рукояти, ковша экскаватора.

Скорость перемещения поршня при подаче рабочей жидкости в штоковую полость находят из уравнения неразрывности:

$$v_{\text{п}} = \frac{4Q_{\text{н}}}{\pi \cdot z \cdot (D^2 - d^2)} \quad (13)$$

где  $Q_{\text{н}}$  - подача насоса;

$z$  - число гидроцилиндров на элементе рабочего оборудования, шт.;

$D$  - диаметр поршня гидроцилиндра, м, [5];

$d$  - диаметр штока гидроцилиндра, м.

$$Q_{\text{н}} = 10^{-6} \cdot q_{\text{н}} / 60 \cdot n_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{ГН}} \quad (14)$$

где  $q_{\text{н}}$  - рабочий объем насоса, см<sup>3</sup>;

$n_{\text{н}}$  - число оборотов вала насоса, об/мин;

$\eta_{\text{ГН}}$  - КПД гидронасоса.

Тогда получается, что продолжительность операции подъема рабочего оборудования будет равна:

$$t_{\text{про}} = \frac{S_{\text{про}}}{v_{\text{п}}} \quad (15)$$

где  $S_{\text{про}}$  – общий путь подъема рабочего оборудования ЭО, м. Для его определения на видеосъемке работы исследуемого экскаватора определяется средняя величина движения стрелы, рукояти, и ковша [21]. Угол подъема стрелы составляет порядка  $115^{\circ} \dots 95^{\circ}$ .

Определение необходимой мощности затраченной на подъем рабочего оборудования

$$N_{\text{про}} = \frac{A_{\text{про}}}{t_{\text{про}}} \quad (16)$$

где  $N_{\text{про}}$  - мощность, кВт;

$t_{\text{про}}$  - время на подъем или на опускание рабочего оборудования.

### **4.3 Определение величины затраченной мощности на поворот платформы с груженным и порожним ковшом**

В поворотных движениях выделяют разгон поворотной части экскаватора с груженным ковшом до максимальной угловой скорости, равномерное вращение с этой скоростью, торможение до полной остановки, разгон в обратном направлении с порожним ковшом до максимальной скорости, равномерное вращение с этой скоростью, торможение до полной остановки. Интервалы времени, в течении которых выполняется перечисленные этапы движения, обозначены на рисунке 6 символами  $t_{\text{рг}}$ ,  $t_{\text{рдг}}$ ,

$t_{\GammaГ}, t_{\GammaП}, t_{\GammaДП}, t_{\GammaП}$ . Интервалы этих движений могут следовать одно за другим непрерывно в случае выгрузки грунта в отвал, которая начинается в конце третьего интервала и заканчивается в начале четвертого, или с разрывом для выгрузки грунта в транспортное средство. В зависимости от требуемых угловых перемещений из описанного движения могут быть исключены интервалы равномерных вращений  $t_{\GammaДГ}, t_{\GammaДП}$ .

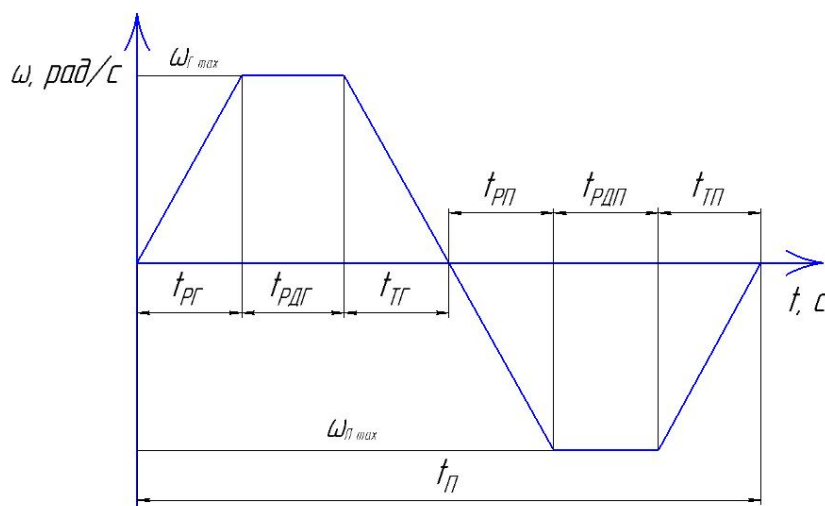


Рис. 6. График изменения угловой скорости поворотной части экскаватора.

Одновременно с поворотом платформы выполняются маневровые движения рабочего оборудования (подъем и вынос ковша при движении рабочего оборудования на выгрузку, уменьшения вылета и опускания рабочего оборудования при возвратном движении), чем обуславливается вариация момента  $J_{\GammaП}$  инерции.

#### 4.3.1 Определения момента инерции при повороте платформы экскаватора

Момент инерции представляется величиной постоянной, вычисленной при вылете ковша, равном  $2/3$  его максимального вылета для лопат и от  $2/3$  до  $3/4$  этого вылета для драглайнов. В других вариантах момент инерции может быть представлен, например, линейной квадратичной и другими функциями времени.

Для экскаваторов с обратной и прямой лопатами момент инерции ( $\text{т} \cdot \text{м}^2$ ) поворотной части с груженным ковшом определяется по эмпирической зависимости [15]

$$J_{\Gamma} = 1,2 \cdot m_{\text{э}}^{5/3} \quad (17)$$

где  $m_{\text{э}}$  - масса экскаватора, т.

Момент инерции ( $\text{т} \cdot \text{м}^2$ ) при порожнем ковше определяется

$$J_{\text{п}} = J_{\text{г}} - m_{\text{г}} \cdot r_{\text{г}}^2 \quad (18)$$

где  $m_{\text{г}}$  - масса грунта в ковше, т;

$r_{\text{г}}$  - радиус центра масс грунта в ковше на расчетном вылете, м.

#### 4.3.2 Определение движущего момента

Движущий момент  $M_{\text{д}}$  зависит от типа двигателя. Характеристики изменения этого момента во времени для наиболее распространенных приводов экскаваторов чаще всего лежат между кривыми I и II, представленные на рисунке 7. Характеристики I достаточно близко соответствуют приводу поворота с помощью гидродвигателей или фрикционных муфт и тормозов. Эта характеристика при всех прочих равных условиях обеспечивает оптимальную продолжительность поворота.

В применявшихся до последнего времени гидроприводах экскаваторов, как правило, продолжительность нарастания момента мала и лежит в пределах  $t_0 = 0,06 \div 0,12$  с, что приводит к динамическим перегрузкам механизмам привода и элементам металлоконструкций и снижает их долговечность. Гидравлические системы управления фрикционными муфтами и тормозами привода поворота обладают такими же недостатками.

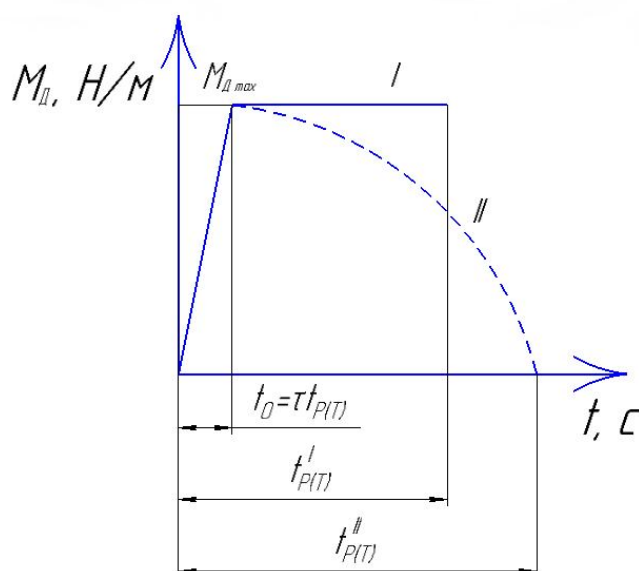


Рис. 7. Характеристика изменения движущего момента во времени

Максимальное значение движущего момента ограничено условиями сцепления движителя с грунтом, не допускающими его поворота, допустимыми ускорениями по физическим возможностям машиниста, а также динамическими нагрузками на механизм и металлоконструкции.

Движущий момент определяется по следующей формуле [15]

$$M_{\text{д}} = \frac{\sqrt[3]{\frac{J_{\text{п}} \cdot a_{\text{г.ср}}}{\beta'} \cdot \left(\frac{N_{\text{д}}}{c}\right)^2}}{u} \quad (19)$$

где  $u$  – передаточное число поворотного механизма;

$N_{\text{д}}$  - мощность двигателя, кВт;

$J_{\text{п}}$  - момент инерции при порожнем ковше,  $\text{т} \cdot \text{м}^2$ ;

$a_{\text{г.ср}}$  - коэффициент пропорциональности;

$c$  – коэффициент пропорциональности (принимается в среднем  $0,8 \div 1,0$  для приводов, соответствующих характеристикам I);

$\beta'$  - полное угловое перемещение поворотной платформы в одном направлении при двухэтапном движении, включающем разгон и торможение (принимается равным  $\beta' = 3,14$  рад).

Определим передаточное число поворотного механизма

$$u = \frac{\pi \cdot n_{\text{д}}}{30} \cdot \sqrt[3]{\frac{J_{\text{п}} \cdot a_{\text{г.ср}}}{c^2 \cdot \beta' \cdot N_{\text{д}}}} \quad (20)$$

где  $n_{\text{д}}$  - частота вращения коленчатого вала, об/мин.

Коэффициент пропорциональности  $a_{\text{г.ср}}$  вычисляется по формуле

$$a_{\text{г.ср}} = \frac{\theta + \left(\frac{1}{\eta_{\text{п}}} + \eta_{\text{п}}\right)}{2} \quad (21)$$

где  $\eta_{\text{п}}$  - КПД механизма поворота,  $\eta_{\text{п}} = 0,6$ ;

$\theta$  - коэффициент пропорциональности,  $\theta = 0,25$ .

При постоянном движущем моменте максимальная мощность поворотного движения будет иметь место в конце разгона платформы при обратном вращении.

Определим мощность, затрачиваемую на поворот платформы по формуле



$$N_{\text{п}} = M_{\text{д}} \cdot u \cdot \omega_{\text{пл}} \cdot \eta_{\text{п}} \quad (22)$$

где  $\omega_{\text{пл}}$  - угловая скорость поворотной платформы, рад/с.

Определим угловую скорость поворотной платформы по формуле

$$\omega_{\text{пл}} = c \cdot \sqrt{\frac{M_{\text{д}} \cdot u \cdot \beta'}{J_{\text{п}} \cdot a_{\text{г.ср}}}} \quad (23)$$

Разделив данное значение мощности на КПД механизма поворота получим реализуемую мощность двигателя, которая затрачивается на поворот платформы

#### **4.4 Расчет мощности затрачиваемой на поворот платформы (второй метод)**

Определим мощность затрачиваемую на поворот платформы с груженным и с порожним ковшом по формуле [11]

$$N_{\text{п}} = \frac{J_{\text{ср}} \cdot \varepsilon_{\text{р}}}{0,95} \cdot \omega_{\text{пл}} \quad (24)$$

где  $J_{\text{ср}}$  - момент инерции экскаватора с груженным или порожним ковшом;  $\varepsilon_{\text{р}}$  - угловое ускорение разгона поворотной платформы, рад<sup>2</sup>/с;  $\omega_{\text{пл}}$  - угловая скорость поворотной платформы, рад/с.

Рассчитаем угловую скорость поворотной платформы. Для начала определим количество оборотов, которое совершает платформа за одну минуту.

$$n_{\text{пл}} = \frac{n_{\text{д}}}{u} \quad (25)$$

где  $n_{\text{д}}$  - частота вращения коленчатого вала, об/мин.

Затем определим количество оборотов, которое совершает платформа за одну секунду

Угловая скорость поворотной платформы равна

$$\omega_{\text{пл}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{пл}}}{30} \quad (26)$$

Угловое ускорение разгона поворотной платформы определяется по формуле

$$\varepsilon_{\text{р}} = \frac{\omega_{\text{пл}}}{t_{\text{р}}} \quad (27)$$

где  $t_{\text{р}}$  - время разгона поворотной платформы, с.

Для определения продолжительности подъема рабочего оборудования экскаватора с поворотом платформы для разгрузки ковша в кузов самосвала ниже приведена следующая формула [11]:

$$t_{\text{пп}} = \frac{(A_{\text{пр}} - A_{\text{пр}}')}{N \cdot \eta_{\text{к}}} + 189 \cdot \left[ \frac{I \cdot \beta^2}{K_{\text{кр}} \cdot N_{\text{двс}} \cdot \eta_{\text{пов}}} \right]^{0,33} \quad (28)$$

где  $A_{\text{пр}}$  - работа на подъем ковша с грунтом из траншеи до уровня разгрузки, Дж;  $A_{\text{пр}}'$  - работа на подъем ковша с грунтом от уровня стоянки экскаватора до уровня разгрузки, Дж;  $N_{\text{двс}}$  - мощность энергоустановки экскаватора, кВт;  $\eta_{\text{к}}$  - КПД передачи энергии от двигателя к рабочему органу в процессе копания грунта;  $I$  - суммарный момент инерции всех масс элементов конструкции экскаватора относительно оси поворота платформы при повороте ковша на разгрузку, кг · м<sup>2</sup>;  $\beta$  - угол поворота платформы на разгрузку ковша;  $K_{\text{кр}}$  - коэффициент перераспределения мощности двигателя при совершении движений поворота платформы и подъема рабочего оборудования;  $\eta_{\text{пов}}$  - КПД механизма поворота платформы.

Принимаем, что для разгрузки экскаватору требуется повернуть платформу на 90°. Тогда угол поворота рассчитывается по данной формуле.

$$\beta = \frac{a}{180 \cdot 3,14} \quad (29)$$

Так, например, проведя дополнительный расчет, был определен суммарный момент инерции всех масс элементов конструкции экскаватора ЭО-5126, относительно оси поворота платформы при повороте ковша на разгрузку, который равен  $I = 387\,000$  кг · м<sup>2</sup> (см. формулу 24).

Для определения коэффициента перераспределения мощности двигателя воспользуемся следующей формулой:

$$A_{\text{пр}}' = (1,6 - K_{\text{кр}}) \cdot N_{\text{двс}} \cdot \eta_{\text{к}} \cdot t_{\text{раз}} / K_{\text{кр}}^{0,333} \quad (30)$$

где  $t_{\text{раз}}$  - время разгона платформы при повороте на разгрузку, с.

Время разгона платформы определим по формуле:

$$t_{\text{раз}} = 1,18 \cdot \left[ \frac{I \cdot \beta^2}{N_{\text{двс}} \cdot \eta_{\text{пов}}} \right]^{0,33} \quad (31)$$

Время на возвращение рабочего оборудования в забой определяется по следующей формуле:

$$t_{\text{и.п}} = 1,89 \cdot \sqrt[3]{\frac{I_3 \cdot \beta^2}{N_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{пов}}}} \quad (32)$$

где  $I_3$  - момент инерции поворотной платформы при повороте в забой, кг · м<sup>2</sup>.

## 4.5 Расчет мощности, затрачиваемой на разгрузку

В практике проектирования гидравлических экскаваторов утвердилась методика определения энергетических параметров через работу активных сил, затрачиваемую на преодоление сопротивления грунта копанию и подъему заполнившего ковш грунта и элементов рабочего оборудования.

Работу на подъем грунта и участвующих в копании элементов рабочего оборудования определим по формуле (11).

Перемещение  $h_i$  вычисляют по разности высотных отметок центра масс  $i$ -го элемента в конце и начале операции. Эта величина может быть как положительной, если уровень центра масс элемента в конце копания окажется выше начального уровня, так и отрицательной – в противном случае.

В операции «разгрузка грунта» поднимаются ковш с грунтом и его рукоять. Следовательно, чтобы определить работу необходимо найти массу ковша с грунтом, массу рукояти и перемещение  $h_p$ , которое они совершают при операции.

При вычислении работы массу грунта определяют в объеме вместимости ковша в зависимости от плотности грунта, массу ковша, в соответствии с действующим стандартом определяют как:

$$m_k = k_n \cdot q \quad (33)$$

где  $k_n$  - коэффициент пропорциональности, принимаемый равным  $1,35 \text{ т/м}^3$ ;

$q$  - вместимость ковша,  $\text{м}^3$

Массу грунта определим по формуле

$$m_r = \rho \cdot q \quad (34)$$

где  $\rho$  – плотность грунта,  $\text{т/м}^3$ .

Массу рукояти экскаватора найдем из формулы

$$m_p = 0,29 \cdot m_{p.o} \quad (35)$$

где  $m_{p.o}$  - масса рабочего оборудования ковша, т.

$$m_{p.o} = 0,28 \cdot m_s \quad (36)$$

где  $m_s$  - масса экскаватора, т.

При разгрузке грунта будем принимать три положения рабочего оборудования, для равномерности распределения грунта в кузове автосамосвала.

Средняя величина работы определяется по формуле

$$A_{cp} = (A_1 + A_2 + \dots + A_n) / n \quad (37)$$

где  $A_1, A_2 \dots A_n$  – величина затраченной работы соответственно при различных сочетаниях положений ковша и рукояти при разгрузке грунта в кузов автосамосвала;  $n$  – количество циклов разгрузки в один автосамосвал.

Для того, что бы перейти от работы к мощности, необходимо ее разделить на время операции разгрузки  $t_p$

$$N_p = A_{cp} / t_p, \quad (38)$$

где  $t_p$  – продолжительность выполнения рабочей операции, с.

После того как проведен расчет мощности реализуемой на рабочем органе, необходимо определить выходную мощность ДВС

$$N_p^{ДВС} = \frac{N_p}{\eta_{пр} \cdot \eta_{ред} \cdot k_{вых}} \quad (39)$$

$\eta_{пр}$  - коэффициент полезного действия привода и рабочего оборудования, принимаемый равным 0,65 для экскаваторов с механическим, 0,57 – с гидромеханическим, 0,45...0,56 – с гидравлическим приводом с насосами постоянной подачи и 0,52...0,64 с насосами переменной подачи;  $\eta_{ред}$  - КПД редуктора,  $\eta_{ред} \approx 0,97$ ;  $k_{вых}$  - коэффициент снижения выходной мощности ДВС, вследствие колебания нагрузки  $k_{вых} = 0,9$ .

Таким образом, представленная методика позволяет рассчитать мощностные затраты на всех технологических операциях рабочего цикла экскаватора.

## 5. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЧАСОВОГО РАСХОДА ТОПЛИВА ОДНОКОВШОВОГО ЭКСКАВАТОРА

В методических указаниях рассмотрены два метода расчета часового расхода топлива, это по МДС 12-38.2007 и альтернативной методикой, учитывающей среднюю частоту вращения коленчатого вала на которой работает техника.

Расчет часового расхода топлива по МДС 12-38.2007

$$G = N_{ном} \cdot g_{e ном} \cdot K \quad (40)$$

где  $N_{ном}$  – номинальная мощность двигателя, кВт;

$g_{e ном}$  - удельный эффективный расход топлива,  $g_{e ном} = 220$  г/кВтч;

$K$  - коэффициент учитывающий условия работы машины в течении смены.

Коэффициент  $K$  определяется:

$$K = 1,03 \cdot K_{им} \cdot K_{в} \cdot K_{тим} \cdot K_{и} \quad (41)$$

где  $K_{им}$  – коэффициент использования ДВС по мощности;

$K_B$  – использования по времени;

$K_{тим}$  – коэффициент учитывающий расход топлива в зависимости от использования ДВС по мощности;

$K_{и}$  - коэффициент, учитывающий степень износа ДВС.

Реализуемая мощность ДВС

Определение коэффициента использования по мощности

$$K_{им} = \frac{N_{ДВС\ p}}{N_{ном}} \quad (42)$$

где  $N_{ДВС\ p}$  - величина затрачиваемой мощности двигателя на рассматриваемую технологическую операцию, кВт;  $N_{ном}$  – номинальная (паспортная) мощность ДВС, кВт.

Средняя величина  $K_{им}^{cp}$  составит

$$K_{им}^{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{T_{ц}} K_{им_i} \cdot t_i}{T_{ц}} \quad (43)$$

где  $T_{ц}$  – продолжительность цикла;  $t_i$  – продолжительность  $i$ -й технологической операции, с.

Далее определяются коэффициент средней фактической частоты вращения коленчатого вала и коэффициент, учитывающий расход топлива в зависимости от использования ДВС по мощности для корректирования удельного расхода топлива  $g_e$ .

Определение коэффициента средней фактической частоты вращения коленчатого вала осуществляется по следующей формуле

$$K_{об} = \left( \frac{n}{n_N} \right)^2 - 1,55 \frac{n}{n_N} + 1,55 \quad (44)$$

где  $n$  – частота вращения двигателя, об/мин;

$n_N$  – номинальная частота вращения двигателя, об/мин.

Определение коэффициента учитывающий расход топлива в зависимости от использования ДВС по мощности на различные технологические операции осуществляется по следующей формуле

$$K_{тим} = 1,5 \cdot u^2 - 2,25 \cdot u + 1,75 \quad (45)$$

Определение удельного эффективного расхода топлива на различных видах технологических операций рабочего цикла (г/кВтч)

$$g_e = g_{e\ ном} \cdot K_{тим} \cdot K_{об} \quad (46)$$

Определение часового расхода топлива (г/маш.ч)

$$G_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{T_{\text{ц}}} G_i \cdot t_i}{T_{\text{ц}}} \quad (47)$$

Расчет согласно МДС 12-38.2007 отличается от альтернативного тем, что коэффициенты использования по мощности, коэффициент, учитывающий расход топлива в зависимости от использования ДВС по мощности, удельный эффективный расход топлива принимаются по справочным данным, указанным в данном нормативном документе.

### Вопросы для защиты курсового проекта

1. Что Вы понимаете под термином «нормирование расхода топлива»?
2. Назовите основные факторы влияющие на величину часового расхода топлива?
3. Перечислите перечень корректирующих коэффициентов нормы часового расхода топлива?
4. В чем особенности предложенной методики расчета часового расхода топлива?
5. Назовите наиболее энергоемкие технологические операции рабочего цикла экскаватора? Чем Вы объясняете их повышенную энергоемкость?
6. Назовите основные недостатки существующей методики расчета часового расхода топлива строительных машин?
7. Что Вы понимаете под корректированием норм расхода топлива с учетом местных условий эксплуатации?
8. Проведите сравнительный анализ копания грунта отдельно рукоятью и ковшом экскаватора. Обоснуйте наиболее приемлемую, на Ваш взгляд, технологию копания грунта экскаватором при разработке котлована?
9. Что понимается под коэффициентом износа? Опишите динамику его изменения в зависимости от наработки для бензиновых и дизельных ДВС?
10. Проведите сравнение результатов норм расхода топлива по МДС 12-38.2007 и с учетом корректирования коэффициента использования по мощности?
11. Назовите основные параметры, которые учитываются в МДС 12-38.2007?
12. Покажите на полученных схемах траектории движения элементов рабочего оборудования экскаватора изменение величины плечей?

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В предложенных методических указаниях были рассмотрены вопросы, связанные с освоением методики расчета часового расхода топлива. Несмотря на то, что в настоящее время активно внедряются спутниковые системы слежения, в частности «Глонасс», проблема перерасхода топлива остается актуальной. Это связано и с недостаточным совершенством средств связи, их высокой стоимостью, что и несколько снижает спрос у предприятий к данному виду контроля, не смотря на незначительный срок окупаемости. Тем не менее эксплуатирующие предприятия технику еще не полностью оснащают системами слежения, т.к. это требует создания дополнительной службы.

Предложенная методика повышает сложность расчета нормы часового расхода топлива с одной стороны, с другой повышает точность нормирования. Студент в процессе обучения по данной методике получает ясное представление об источниках потерь энергии. При помощи данной методики можно находить наименее энергоемкие способы организации строительных работ. Несмотря на кажущуюся массивность представленных расчетов, связанных с определением усилий при копании, подъеме рабочего оборудования, моментов на поворот платформы студент учится основам физики процессов, логически мыслить относительно происходящих силовых взаимодействий рабочего органа и разрабатываемой среды, тем самым повышая и развивая свой уровень знаний. При проведении расчетов целесообразно использовать современные пакеты прикладных программ, что сократит трудоемкость выполняемых вычислительных операций, а также при проектировании траекторий движения отдельных элементов рабочего оборудования необходимо использование таких программ как «Компас», «Солид Воркс».

Таким образом, в результате освоения практических заданий студент должен приобрести следующие компетенции: готовность применять аналитические и численные методы решения поставленных организационно-управленческих задач, способность использовать языки и системы программирования для решения этих задач на основе технико-экономического анализа.

## Библиографический список

1. Абрамов, Н. Н. Курсовое и дипломное проектирование по дорожно-строительным машинам – М. : Высшая школа, 1972. – 120 с.
2. Алексеева, Т. В. Машины для земляных работ. – М. : Машгиз, 1972. – 428 с.
3. Аринченков, В. И., Репин С. В. Землеройно-транспортные машины: методические указания по использованию ЭВМ в курсовом и дипломном проектировании по курсу «Машины для земляных работ». – Л. : ЛИСИ, 1982. – 25 с.
4. Беркман, Л. И., Раннев А. В., Рейтлт А. К. Универсальные одноковшовые строительные экскаваторы. – М. : Машиностроение, 1994. – 304 с.
5. Бромберг, А. А. Машины для земляных работ: Атлас конструкций. – М. : Машиностроение, 1981. – 205 с.
6. Машины для земляных работ / Гаркави Н. Г., Аринченков В. И., Карпов В. В., Гарбузов З. Е., Батулов А. И., Донской В. М. – М. : Высшая школа, 1982. – 335 с.
7. Домбровский, Н. Г., Панкратов С.А. Землеройные машины. Одноковшовые экскаваторы. – М. : Госстройиздат, 1961. – 651 с.
8. Домбровский, Н. Г. Строительные машины. В 2-х томах. – М. : Машиностроение, 1976. – 391 с.
9. Технологические машины и комплексы в дорожном строительстве (промышленная и техническая эксплуатация) : учеб. пособие/ В.Б. Пермяков, В.И. Иванов, С.В. Мельник и др./ Под ред. В.Б. Пермякова. – М. : ИД «БАСТЕТ», 2014. – 752 с.
10. Каверзин, С. В. Курсовое и дипломное проектирование по гидроприводу самоходных машин. – Красноярск : Изд-во "Офсет", 1997. – 382 с.
11. Машины для земляных работ: учебник для студентов вузов / Доценко А.И., Карасев Г.Н., Кустарев Г.В., Шестопалов К.К. – М. : «Издательский дом «БАСТЕТ», 2012. – 688 с.
12. Репин, С.В. Машины для земляных работ: Учебное пособие по дисциплине для студентов заочной формы обучения по специальности 190205 – подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование / СПб. гос. архит.-строит. ун-т; Сост. : С. В. Репин, А. В. Зызыкин. – СПб., 2006. – 81 с.
13. ЕНиР № 17 Сборник Е2 Земляные работы. Выпуск 1.
14. Салихов, Р.Ф., Попков В.И. Методика расчета изменения производительности одноковшового экскаватора в процессе наработки / Механизация строительства. – 2018. – № 1. – С. 2–7.
15. Машины для земляных работ: учебник для студентов вузов по специальности «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» / Д.П. Волков, В.Я. Крикун, П.Е. Тотолин [и др.]; под общ. ред. Д.П. Волкова. – М. : Машиностроение, 1992. – 448 с.
16. Яблонский, А.А., Никифорова В.М. Справочник по теоретической механике. Часть 1. Статика. Кинематика. – Изд-е 3-е исправл., 1966. – 429 с.
17. МДС 12-38.2007 Нормирование расхода топлива для строительных машин
18. СП 12-102-2001. Механизация строительства. Расчет расхода топлива на работу строительных и дорожных машин ЦНИИОМТП Москва 2008.
19. Машины для земляных работ. Экскаватор одноковшовый гидравлический. Обратная лопата: методические указания / Сост. В.А. Слепченко / Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. унта, 2013. – 49 с.



21. <https://www.youtube.com/watch?v=zEs0Q4vv3xA>. ООО "Авангард" работа экскаватора Komatsu PC220-8 [www.ava78.ru](http://www.ava78.ru)

22. Расчет основных параметров гидравлических экскаваторов с рабочим оборудованием обратная лопата : учебное пособие / В.Я Крикун, В.Г. Манасян. Первое издание. – М. : АСВ, 2001. –104 с.

23. Павлов, В.П. Основы системотехники многоцелевых землеройных машин: монография / В.П. Павлов; Мин-во образования и науки РФ, Федеральное агентство по образованию, Красноярский гос. тех. ун-т. – Новосибирск : Изд-во СО РАН; Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2006. – 332 с.

**Варианты выполнения заданий**

№ п/п	Марка и модель машины	Параметры рабочего оборудования	
		Вместимость ковша, м <sup>3</sup>	Длина рукояти, м
1	ЭО-5126	0,85	1,25
2	ЭО-3323	0,65	1,9
3	ЕК-14	0,8	1,9
4	ЕК-14	0,65	2,2
5	ЕК-14	0,5	2,8
6	ЕК-14	0,4	3,4
7	ЕТ-16	0,65	1,9
8	ЕТ-16	0,5	2,2
9	ЕТ-16	0,4	2,8
10	ЕТ-16	0,32	3,4
11	РС 300-7	0,52	2,22
12	РС 300-7	1,4	3,19
13	РС 300-7	1,8	2,55
14	РС 360-7	1,6	2,55
15	РС 360-7	1,6	2,22
16	ZX-240	0,8	2,5
17	ZX-240	1,1	2,96
18	ZX-240	1,4	3,51
19	ZX-160W	0,52	2,01
20	ZX-160W	0,70	2,58

## ПРИМЕР РАСЧЕТОВ РАЗДЕЛОВ КУРСОВОГО ПРОЕКТА

### 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Одноковшовый экскаватор - это самоходная землеройная машина с рабочим органом в виде ковша, предназначенная для разработки грунтов и перемещения их на определенные расстояния в транспортные средства или отвал [1, 2, 3, 6, 11,15].

Одноковшовые экскаваторы относят к числу наиболее распространенных машин: их широко применяют в гражданском, гидротехническом и транспортном строительстве. В рабочем цикле одноковшовых экскаваторов за наполнением ковша следует подъем его и перемещение к месту разгрузки, разгрузка ковша, возврат порожнего ковша к месту забоя, опускание его в исходное положение для следующего цикла. После выполнения нескольких рабочих циклов экскаватор перемещается для копания следующих объемов грунта. Он должен перемещаться также на большее расстояние при смене объектов работ.

Экскаватор имеет следующие механизмы: подъема кошма, напорный для выдвигения ковша, стрелоподъемный для изменения положения стрелы, поворотный для поворота верхней платформы к рабочим оборудованим, для передвижения. Привод механизмов осуществляется от силовой установки, а их включение - соответствующей системой управления.

Одноковшовые экскаваторы по количеству видов рабочего оборудования подразделяют на следующие типы: неуниверсальные, которые имеют, как правило, один вид рабочего оборудования (прямая, обратная лопаты или драглайн), полууниверсальные, имеющие два-три вида рабочего оборудования (прямая и обратная лопата, драглайн), и универсальные, имеющие более трех видов рабочего оборудования (прямая и обратная лопаты, драглайн, грейфер, кран и др.).

Прямую лопату используют для копания грунта выше уровня стояния экскаватора. Это оборудование применяют для рытья котлованов и

больших выемок, возведения насыпей с доставкой грунта транспортными средствами, разработки карьеров и т. п.

Обратная лопата и драглайн служат для разработки грунта, находящегося ниже опорной поверхности самого экскаватора. Их применяют при рытье котлованов, траншей, каналов, выемок. Драглайном, кроме того, можно возводить насыпи из боковых резервов и выполнять вскрышные работы.

Рабочий цикл у экскаваторов с разным рабочим оборудованием различен. Если принять его длительность у прямой лопаты за единицу, то у обратной лопаты она составит 1,15, а у драглайна – 1,20. У обратной лопаты это объясняется невозможностью совмещения операций подъема и поворота до полного выхода ковша из забоя. Большая длительность цикла драглайна объясняется большим вылетом оборудования, увеличением времени копания и поворота, а также сложностью управления. Рабочее оборудование прямой и обратной лопат у экскаваторов с ковшом вместимостью 0,15-0,4 м<sup>3</sup> монтируют, как правило, из унифицированных элементов.

В зависимости от назначения различают одноковшовые экскаваторы строительные, карьерные, вскрышные и специальные. К строительным относят универсальные и полууниверсальные экскаваторы с ковшами вместимостью от 0,15 до 4,0 м<sup>3</sup> и массой машин от 1,5 до 140 т [11,15]. Основное назначение машин этой группы – выполнение земляных работ в грунтах I–IV категории, строительно-монтажные и погрузочно-разгрузочные. При работе в легких грунтах можно применять сменные ковши увеличенной емкости. Экскаваторы с ковшом вместимостью до 2,0 м<sup>3</sup> и массой до 90 т относят к строительным экскаваторам малой мощности, экскаваторы с ковшом 2 - 4 м<sup>3</sup> - к машинам средней мощности. Наиболее распространены универсальные экскаваторы малой мощности.

Широко применяют карьерные и вскрышные экскаваторы с ковшами 2-150 м<sup>3</sup> и общей массой 70-13 000 т. Все эти машины не универсальны, т. е. имеют обычно один вид рабочего оборудования – прямую лопату или драглайн.

Одноковшовые экскаваторы подразделяют с учетом видов ходового оборудования, неповоротного устройства, типов привода и управления.

По виду ходового оборудования различают экскаваторы на автомобильном, пневмоколесном, гусеничном и шагающем ходу. Экскаваторы с ковшами до  $0,4 \text{ м}^3$  имеют наряду с гусеничными пневмоколесный и автомобильный, ход. Экскаваторы с ковшом  $0,65 \text{ м}^3$  и более имеют, как правило, гусеничный ход.

Шагающий ход имеют мощные экскаваторы со значительными вылетами рабочего оборудования и высокими нагрузками на ходовую часть машины. Их применяют при крупных сосредоточенных объемах работ с перемещением на незначительные расстояния.

По виду привода различают экскаваторы с механическим, гидравлическим, электрическим и комбинированным (гидромеханическим и дизель-электрическим) приводом. Экскаваторы, используемые в строительных организациях нашей страны, имеют механический, гидравлический и гидромеханический привод мощностью 18-225 кВт.

У экскаваторов с механическим приводом силовым оборудованием служат двигатели внутреннего сгорания. Поток мощности (например, привод рабочего оборудования) непосредственно с силовой установкой, а часть механизмов приводит в действие гидро- или электромоторами. Обычно это целесообразно при большой мощности экскаваторов.

По исполнению опорно-поворотных устройств одноковшовые экскаваторы подразделяют на полноповоротные и неполноповоротные. Полноповоротными являются те экскаваторы, у которых рабочее оборудование крепят к поворотным платформам, которые могут поворачиваться на  $360^\circ$ . Вместимость ковша у этих экскаваторов превышает  $0,25 \text{ м}^3$ .

По системам управления различают экскаваторы с рычажно-механическим, пневматическим, гидравлическим, электрическим и комбинированным (электропневматическим, электрогидравлическим) управлением. Рычажно-механическое управление предусматривают на экскаваторах малой мощности. Вследствие большого количества недостатков этот вид управления в последнее время на большинстве машин заменен пневматическим или гидравлическим. Пневматическое управление уста-

навливают на экскаваторах малой мощности с вместимостью ковшей 0,5-2,0 м<sup>3</sup>. Гидравлическое и электрическое управление используют при соответствующих видах привода.

## **2. РАСЧЁТ МОЩНОСТИ ЗАТРАЧИВАЕМОЙ ЭКСКАВАТОРОМ НА КОПАНИЕ**

### **2.1. Определение центров масс элементов рабочего оборудования экскаватора**

При расчете данных, приведенных в табл. 2.1, принято следующее положение главных осей: ось  $x$  проходит на уровне опорной поверхности и направлена в сторону переднего моста; ось  $z$  направлена вверх по оси вращения поворотной платформы, ось  $y$  направлена влево. Координаты центров тяжести сборочных единиц рабочего оборудования указаны в таблице применительно к положению, показанному на рис. 2.1.

Основными задачами расчета рабочего оборудования являются: определение усилий копания на режущей кромке (зубьях) ковша, а также нагрузок на рабочее оборудование, поворотную платформу, ходовое оборудование и др.

Для определения центра масс достаточно воспользоваться справочником по теоретической механике [16], также можно воспользоваться программой «Компас», в которой имеется специальная опция по определению центра тяжести различных объектов, в рассматриваемом случае это такие объекты как: стрела, рукоять, ковш.

Заносим координаты центров тяжести сборочных единиц рабочего оборудования в таблицу 2.2.

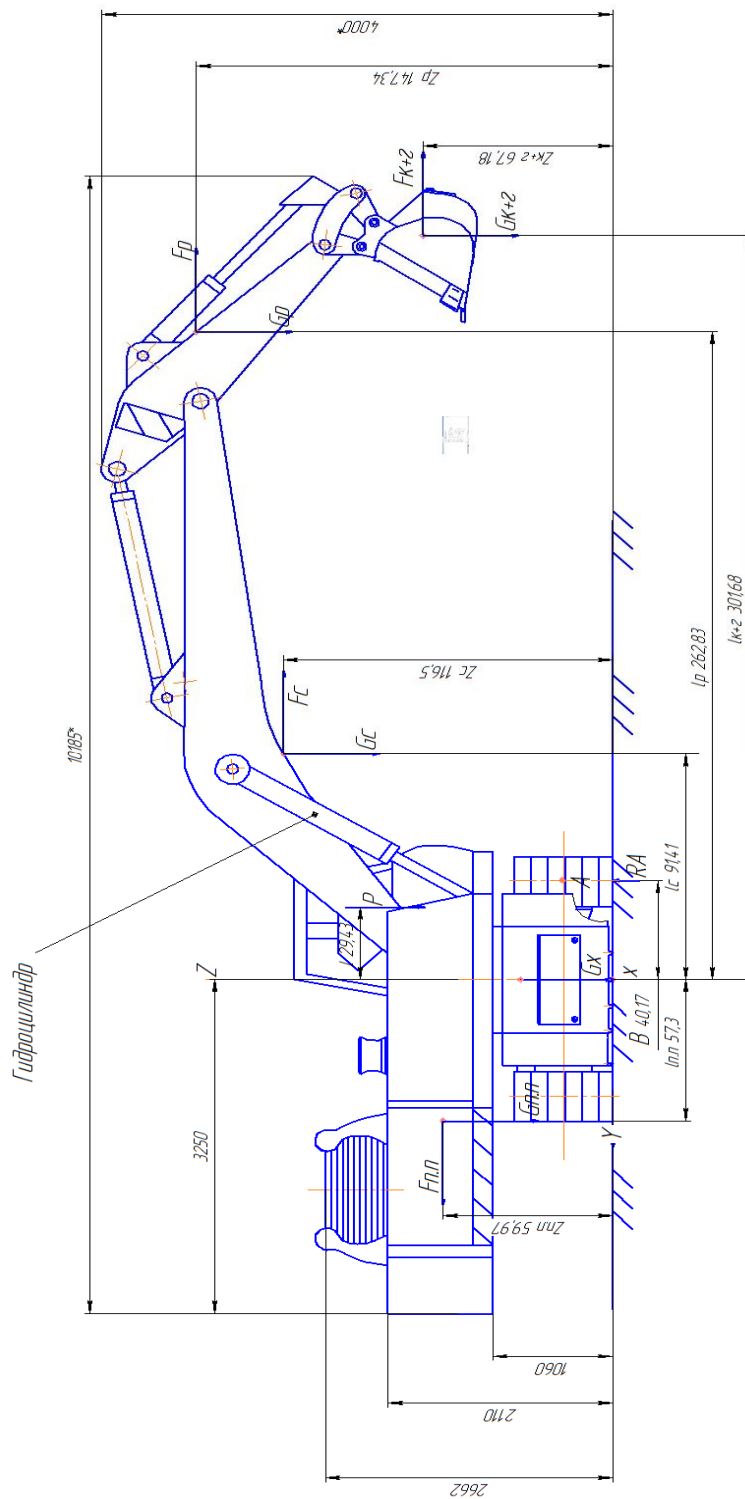


Рис. 2.1. Основное положение экскаватора с указанием центров тяжести сборных единиц рабочего оборудования.

**Весы, координаты центров тяжести и статические моменты  
основных сборочных единиц экскаватора**

Наименование сборочных единиц	Вес G, кН	Координаты центра тяжести, м			Статические моменты, кН·м		
		X	Y	Z	$M_x$	$M_y$	$M_z$
1	2	3	4	5	6	7	8
Поворотная платформа с механизмами	102,4	-1,27	-0,038	1,33	130,05	-3,9	136,2
Ходовое оборудование	94,2	0,590	0	0,727	55,6	0	68,5
Стрела с гидроцилиндрами стрелы и рукояти	32,2	2,0	0	2,6	64,4	0	83,72
Рукоять с гидроцилиндром	9,2	5,8	0	3,3	53,36	0	30,36
Ковш	10,3	6,7	0	1,5	69,01	0	15,45
Грунт в ковше	15,1	6,7	0	1,5	101,17	0	22,65

Вес экскаватора, учитывая то что его масса составляет 32 т равен  $G_э = 317,1$  кН.

Таким образом, зная центры масс элементов рабочего оборудования экскаватора можно определить касательные усилия на режущей кромке ковша при различных способах копания.

## 2.2. Определение возможных усилий на режущей кромке ковша при копании поворотом рукояти

### 2.2.1. Определение массы элементов рабочего оборудования

Определение массы ковша:

$$m_k = k_p \cdot v_g \quad (2.1)$$

где  $m_k$  - масса ковша, т [7];

$k_p$  - коэффициент пропорциональности,  $k_p = 1,35$  т/м<sup>3</sup>;

$v_g$  - геометрический объём ковша, м<sup>3</sup>.



$$m_k = 1,35 \cdot 1,25 = 1,69 \text{ т.}$$

Определение массы грунта:

$$m_{\Gamma} = \rho \cdot v_g \quad (2.2)$$

где  $m_{\Gamma}$  - масса грунта, т;

$\rho$  - плотность грунта второй категории, кг/м<sup>2</sup>.

Плотность грунта 2 категории примем равной 1,5 т/м<sup>2</sup>.

$$m_{\Gamma} = 1,5 \cdot 1,25 = 1,875 \text{ т.}$$

Определение массы рукояти:

Удельную массу рукояти принимаем равной: 0,1...0,38 т/м.

т.к. масса экскаватора равна 32 тоннам, то составим пропорцию и определим данный параметр:

$$40 \text{ т.} - 0,38 \text{ т/м}$$

$$32 \text{ т.} - x, \text{ тогда}$$

$$x = \frac{32 \cdot 0,38}{40} = 0,30 \text{ т/м}$$

Оставшиеся массы оборудования определим из следующих соотношений:

$$m_{\text{po}} = 0,28 \cdot m_{\text{э}} \quad (2.3)$$

$$m_{\text{ст}} = 0,5 \cdot m_{\text{po}} \quad (2.4)$$

$$m_{\text{р}} = 0,29 \cdot m_{\text{po}} \quad (2.5)$$

где  $m_{\text{po}}$  - масса рабочего оборудования, т;

$m_{\text{э}}$  - масса экскаватора, т;

$m_{\text{ст}}$  - масса стрелы, т;

$m_{\text{р}}$  - масса рукояти, т.

$$m_{\text{po}} = 0,28 \cdot 32 = 8,9 \text{ т.}$$

$$m_{ст} = 0,5 \cdot 8,9 = 4,48 \text{ т.}$$

$$m_p = 0,29 \cdot 8,9 = 2,60 \text{ т.}$$

### **2.2.2. Определение усилий на режущей кромке ковша при копании поворотом рукояти**

Гидравлическими одноковшовыми экскаваторами, оборудованными обратной лопатой, грунт копают двумя способами: поворотом рукояти (при неподвижной стреле) или поворотом ковша (при неподвижных стреле и рукояти).

Путь копания рукоятью  $l^p_{\text{коп}}$  определим по следующей формуле:

$$l^p_{\text{коп}} = \frac{2\pi \cdot l_k^B \cdot \beta_p}{360} \quad (2.6)$$

где  $\beta_p$  - угол поворота рукояти, в соответствии с расчетной схемой (рис. 2.2)  $\beta_p = 120^\circ$ ;

$l_k^B$  - плечо, м, которое определяем графически по рис. 2,  $l_k^B = 2,9$  м.

Таким образом, путь копания равен:

$$l_{\text{коп}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 2,9 \cdot 120}{360} = 6,1 \text{ м.}$$

Необходимое касательное усилие на режущей кромке ковша определим по формуле:

$$P_k = k_{01} \cdot b \cdot h = k_{01} \cdot F \quad (2.7)$$

где  $k_{01}$  - коэффициент удельного сопротивления копанию, кПа.

Для одноковшовых экскаваторов с обратной лопатой для II-й категории грунта коэффициент удельного сопротивления копанию составляет 134-193 кПа, для III-й категории грунта – 211-312 кПа [23].

Примем для одноковшовых экскаваторов с обратной лопатой при разработке суглинка  $k_{01} = 205$  кПа [22];

$F$  - площадь срезаемой стружки,  $\text{м}^2$ .

Исходя из равенства объема ковша и снимаемой стружки

$$q_k \cdot k_n = l_{\text{коп}} \cdot F \cdot k_p, \text{ откуда}$$

$$F = \frac{q_k \cdot k_n}{l_{\text{коп}} \cdot k_p}, \quad (2.8)$$

где  $q_k$  - вместимость ковша,  $\text{м}^3$ ,  $q_k = 1,25$   $\text{м}^3$  [4];

$k_n$  - коэффициент наполнения ковша,  $k_n = 0,95$ ;

$k_p$  - коэффициент разрыхления грунта,  $k_p = 1,25$ .

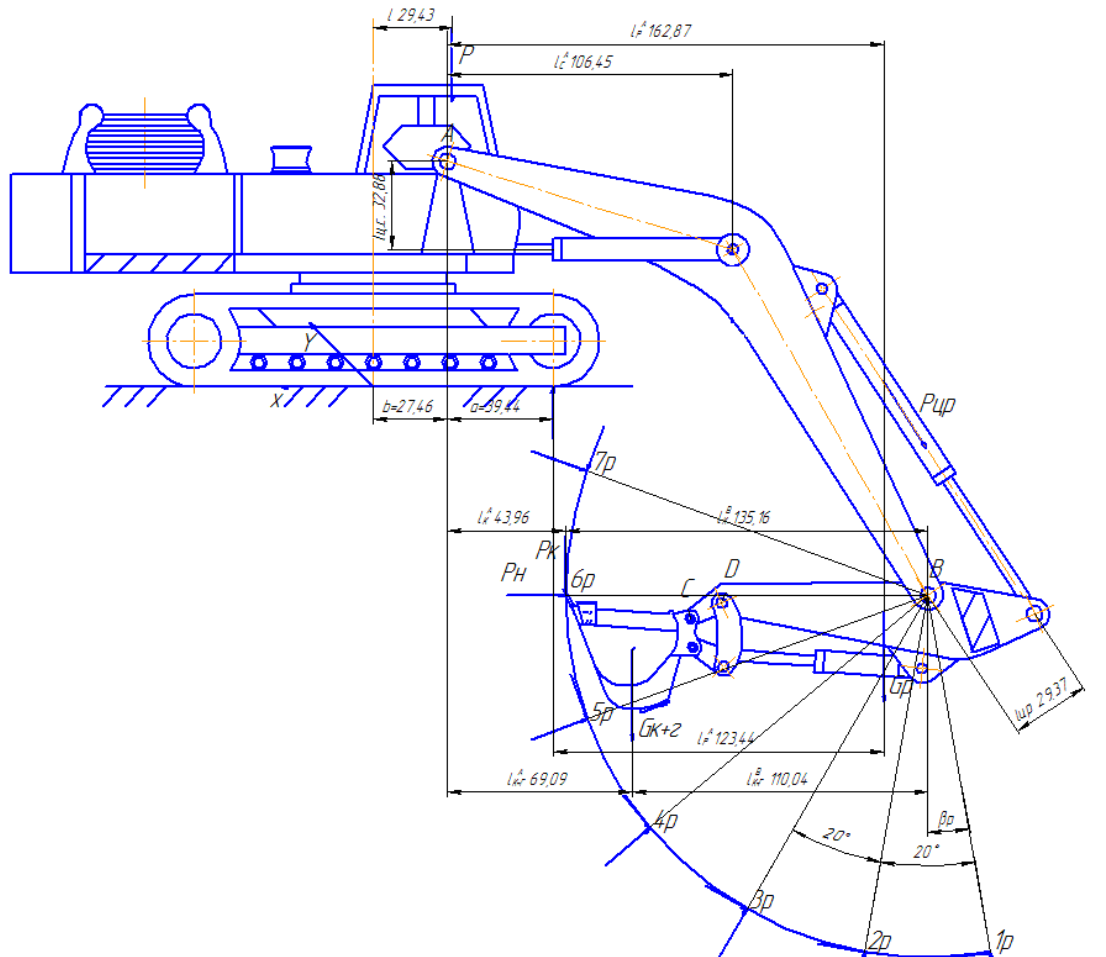


Рис. 2.2. Схема к определению касательных усилий на режущей кромке ковша экскаватора при копании поворотом рукояти

Рассчитываем формулы (2.3) и (2.2) соответственно для грунтов II категории:

$$F = \frac{1,25 \cdot 0,95}{6,1 \cdot 1,25} = 0,16 \text{ м}^2;$$

$$P_K = 205000 \cdot 0,16 = 31,99 \text{ кН.}$$

Определим возможные усилия на режущей кромке ковша при копании поворотом рукояти. При расчете принимаем, что гидроцилиндр рукояти развивает постоянное рабочее усилие в зависимости от номинального рабочего давления:

$$P_{\text{ц.р.}} = p_{\text{раб}} \cdot F_{\text{ц.р.}} \quad (2.9)$$

где  $p_{\text{раб}}$  - средняя величина рабочего давления, возникающее в гидроцилиндре рукояти,  $p_{\text{раб}} = 20 \cdot 10^6 \text{ Па}$

$F_{\text{ц.р.}}$  - площадь гидроцилиндра, зная диаметр поршня гидроцилиндра, её можно найти  $F_{\text{ц.р.}} = \frac{\pi(D)^2}{4}$ .

Следовательно,  $P_{\text{ц.р.}}$  равен:

$$P_{\text{ц.р.}} = \frac{20 \cdot 10^6 \cdot 3,14 \cdot (0,16)^2}{4} = 401,92 \text{ кН}$$

Из суммы моментов относительно точки В на Рис. 2.2 найдем касательное усилие на режущей кромке ковша по усилию цилиндра рукояти:

$$P_K = \left( \frac{1}{l_K^B} \right) \cdot [P_{\text{ц.р.}} \cdot l_{\text{ц.р.}} - (G_p \cdot l_p + G_{\text{к+г}} \cdot l_{\text{к+г}})] \quad (2.10)$$

Плечи сил определяем графически по рис. 2.2.

Результаты расчета приведены в табл. 2.2, а график зависимости  $P_K = f(l_{\text{коп}})$  – на рис. 2.4.

Длина  $l_K^B$  для стандартного рабочего оборудования ЭО-5126 составляет 2,90 м.

Вес рукояти определен в следующем разделе по формуле 2.5 и составляет 2,6 т. или 25,5 кН.

Величина плечей рукояти, ковша относительно точки В определяется графоаналитически рис. 2.2, 2.3, результаты которых представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2

**Результаты расчета усилий на режущей кромке ковша  
при копании поворотом рукояти**

Параметры	Обозначение	Размерность	Показатели для траектории рукояти						
			1р	2р	3р	4р	5р	6р	7р
Плечо усилия в гидроцилиндрах рукояти	$l_{ц.р.}$	м	0,09	0,31	0,43	0,45	0,41	0,32	0,23
Момент усилия гидроцилиндра рукояти	$P_{ц.р.} \cdot l_{ц.р.}$	кН·м	33,25	115,0	158,3	168,0	152,8	117,1	85,5
Плечо рукояти	$l_p^B$	м	-0,09	-0,03	0,04	0,09	0,14	0,15	0,18
Момент веса рукояти, ( $G_p=25,5$ кН)	$G_p \cdot l_p$	кН·м	-2,30	-0,77	1,02	2,24	3,60	3,72	4,46
Вес ковша с грунтом	$G_{к+г}$	кН	24,05	26,21	28,36	30,52	32,67	34,83	34,97
Плечо ковша с грунтом	$l_{к+г}^B$	м	-0,869	-0,018	0,748	1,424	1,929	2,469	2,227
Момент от веса ковша с грунтом	$G_{к+г} \cdot l_{к+г}^B$	кН·м	-20,90	-0,47	21,22	43,46	63,03	85,99	77,88
Касательное усилие на режущей кромке ковша	$P_k$	кН	20,34	43,20	51,25	46,72	33,90	12,70	3,48

В результате проведенных расчетов можно сделать вывод о том, что минимальное касательное усилие на режущей кромке наблюдается в последнем расчетном положении, что вызвано окончательным наполнением ковша грунтом и снижением момента, создаваемого гидроцилиндром рукоятки.

### 2.3. Определение возможных усилий на режущей кромке ковша при копании поворотом ковша

По такой же методике рассчитывается усилие на режущей кромке при копании поворотом ковша.

Расчетное положение рабочего оборудования (рис. 2.3): стрела предельно опущена, а рукоять отвернута.

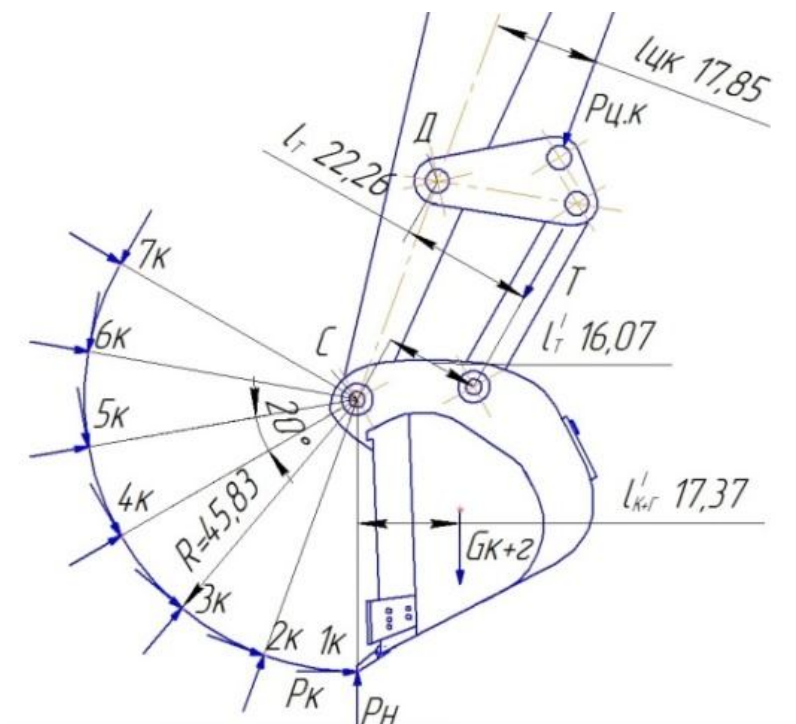


Рис. 2.3. Схема к определению касательных усилий на режущей кромке при копании поворотом ковша

В цилиндре ковша с площадью поршня  $F$  ( $\text{м}^2$ ) действует давление  $P_H$ , МПа, и развивается усилие (кН):

$$P_{ц.к.} = 10^3 \cdot P_H \cdot F \quad (2.11)$$

Подставляем известные значения в формулу (6) и определяем усилие в цилиндре ковша:

$$P_{ц.к.} = 20,0 \cdot 10^6 \cdot 0,02 = 401,92 \text{ кН.}$$

Далее определим реактивное давление, возникающее в цилиндре ковша при копании поворотом ковша, исходя из суммы моментов относительно С (см. рис. 2.3).

$$P_k = \left( \frac{1}{R} \right) \cdot (T \cdot l_T - G_{к+г} \cdot l_{к+г}) \quad (2.12)$$

Из суммы моментов относительно точки D имеем:

$$T \cdot l_T = P_{цк} \cdot l_{цк} \rightarrow T = \frac{P_{цк} \cdot l_{цк}}{l_T} \quad (2.13)$$

Плечи сил определяем графически по рис. 2.3.

Результаты расчета приведены в табл. 2.3, а график зависимости  $P_k = f(l_{коп})$  – на рис. 2.4.

Таблица 2.3

**Результаты расчета усилий на режущей кромке ковша при копании поворотом ковша**

Параметры	Обозначение	Размерность	Показатели для траектории ковша						
			1к	2к	3к	4к	5к	6к	7к
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Плечо усилия в гидроцилиндрах ковша	$l_{ц.к.}$	м	0,396	0,450	0,462	0,414	0,392	0,363	0,329
Момент усилия гидроцилиндра ковша	$P_{ц.к.} \cdot l_{ц.к.}$	кН·м	159,2	180,9	185,7	166,4	157,6	145,9	132,2
Вес ковша с грунтом	$G_{к+г}$	кН	-24,1	-26,2	-28,4	30,5	32,7	34,8	35,0
Плечо ковша с грунтом	$l_{к+г}^B$	м	0,386	0,2	0,03	0,16	0,33	0,48	0,55
Момент от веса ковша с грунтом	$G_{к+г} \cdot l_{к+г}^B$	кН·м	-9,28	-5,24	-0,85	4,88	10,78	16,72	19,23
Касательное усилие на режущей кромке ковша	$P_k$	кН	57,95	64,02	64,17	55,56	50,49	44,44	38,87

Анализируя полученные результаты можно сказать о том, что касательное усилие на режущей кромке гидроцилиндра ковша выше по сравнению с усилием на режущей кромке гидроцилиндра рукояти на 44 %. Это свидетельствует о том, что при копании ковшом, давление в гидросистеме можно снизить приблизительно на 40 %, что приведет к снижению энергоемкости процесса копания и экономии часового расхода топлива.

## 2.4 Определение среднего значения усилия на режущей кромке для копания рукоятью и ковшом

Приведём график для сравнения усилий при копании поворотом рукояти и поворотом ковша (рис.2.4).

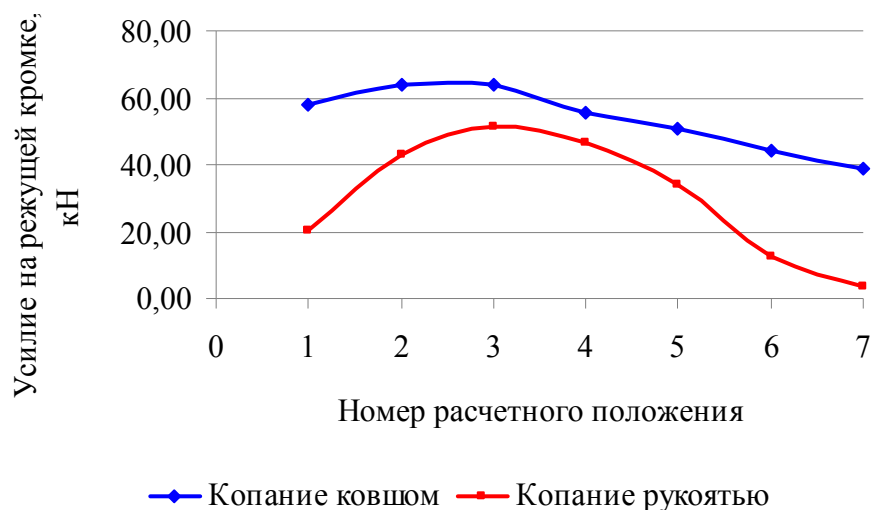


Рис. 2.4. Усилие на режущей кромке

Далее рассчитаем среднее усилие на режущей кромке при учете того что, работа рукоятью составляет в среднем 33 % от всего времени копания, а поворотом ковша 67 % [21].

При этом учитываем то, что изначально происходит копание рукоятью - 40<sup>0</sup>, а копание ковшом остальные 80<sup>0</sup>.

Т.е. среднее усилие на режущей кромке составит:

$$P_{\text{К}}^{\text{ср.}} = P_1^{\text{Рук}} + P_2^{\text{Рук}} + P_3^{\text{Ков}} + P_4^{\text{Ков}} + P_5^{\text{Ков}} + P_6^{\text{Ков}} + P_7^{\text{Ков}} \quad (2.14)$$



Находим среднее усилие на режущей кромке по формуле (2.14), соответствующее положениям рукояти  $0^{\circ}$ ,  $20^{\circ}$ ,  $40^{\circ}$ , положению ковша  $60^{\circ}$ ,  $80^{\circ}$ ,  $100^{\circ}$ ,  $120^{\circ}$ :

$$P_k^{cp} = (20,73 + 42,69 + 51,25 + 54,73 + 49,56 + 43,32 + 38,87) / 7 = 43,45 \text{ кН.}$$

## 2.5. Определение скорости движения режущей кромки ковша экскаватора

Для определения скорости движения режущей кромки ковша воспользуемся следующими формулами.

Скорость перемещения поршня при подаче рабочей жидкости в поршневую полость найдём по следующей зависимости:

$$v_{\text{п}} = \frac{4Q_{\text{н}}}{\pi D^2} \quad (2.15)$$

где  $Q_{\text{н}}$  - подача насоса,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;

$D$  - диаметр поршня гидроцилиндра, м,  $D=0,16$  м [5].

$$Q_{\text{н}} = 10^{-6} \cdot q_{\text{н}} / 60 \cdot n_{\text{кв}} \cdot u_{\text{н}} \cdot \eta_{\text{гн}} \quad (2.16)$$

где  $q_{\text{н}}$  - рабочий объем гидронасосов,  $\text{м}^3$ ;

$n_{\text{кв}}$  - частота вращения коленчатого вала, об/мин;

$u_{\text{н}}$  - передаточное отношение частоты вращения с коленчатого вала на вал гидронасоса;

$\eta_{\text{гн}}$  - объемный КПД, %.

Основные технические параметры аксиально-поршневого гидронасоса регулируемого типа модели 313.3.112.507.303.

**Технические параметры аксиально-поршневого гидронасоса  
регулируемого типа модели 313.3.112.507.303**

Наименование параметра	Значения величин
<p>Рабочий объем <math>V_{gv}</math> см<sup>3</sup>/об</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- минимальный <math>V_{g\ min}</math></li> <li>- максимальный <math>V_{g\ max}</math></li> </ul>	<p>31</p> <p>112</p>
<p>Частота вращения <math>n</math>, об/мин</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- минимальная <math>n_{min}</math></li> <li>- номинальная <math>n_{nom}</math></li> <li>- максимальная <math>n_{max}</math> при давлении на входе 0,08 МПа</li> <li>- максимальная <math>n_{peak}</math> при давлении на входе 0,2 МПа</li> </ul>	<p>400</p> <p>1200</p> <p>2000</p> <p>3000</p>
<p>Подача <math>Q</math>, л/мин</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- минимальная <math>Q_{min}</math></li> <li>- номинальная <math>Q_{nom}</math></li> <li>- максимальная <math>Q_{max}</math></li> <li>- предельная <math>Q_{peak}</math></li> </ul>	<p>44,80</p> <p>134,40</p> <p>224,00</p> <p>336,00</p>
<p>Давление нагнетания (перепад) <math>\Delta P</math>, МПа</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- номинальное <math>\Delta P_{nom}</math></li> <li>- максимальное рабочее <math>\Delta P_{max}</math> (для серии 313.3)</li> <li>- максимальное рабочее <math>\Delta P_{max}</math> (для серии 313.4)</li> </ul>	<p>20</p> <p>35</p> <p>40</p>
<p>Давление на входе, МПа</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- минимальное (абсолютное)</li> <li>- максимальное</li> </ul>	<p>0,08</p> <p>0,2</p>
<p>Давление устойчивой работы регулятора, минимальное, МПа</p>	<p>3</p>
<p>Мощность потребляемая <math>N</math>, кВт</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- номинальная <math>N_{nom}</math> (при <math>n_{nom}</math>, <math>V_{g\ max}</math>, <math>P_{nom}</math>)</li> <li>- максимальная <math>N_{max}</math> (при <math>n_{max}</math>, <math>V_{g\ max}</math>, <math>P_{max}</math>) для серии 313.3</li> <li>- максимальная <math>N_{max}</math> (при <math>n_{max}</math>, <math>V_{g\ max}</math>, <math>P_{max}</math>) для серии 313.4</li> </ul>	<p>93,33</p> <p>130,67</p> <p>149,33</p>

Крутящий момент приводной $T$ , Нм	
- номинальный $T_{\text{ном}}$ (при $V_{g \text{ max}}, P_{\text{ном}}$ )	445,63
- максимальный $T_{\text{max}}$ (при $V_{g \text{ max}}, P_{\text{max}}$ ) для серии 313.3	623,89
- максимальный $T_{\text{max}}$ (при $V_{g \text{ max}}, P_{\text{max}}$ ) для серии 313.4	713,01

$$V_{\text{общ}} = a \cdot V \cdot 10^{-6} \quad (2.17)$$

где  $V_{\text{общ}}$  - общий объем гидронасосов, м<sup>3</sup>;

$a$  - количество гидронасосов, шт. (на экскаваторе ЭО-5126 установлено 2 аксиально-поршневых гидронасоса регулируемого типа модели 313.3.112.507.303);

$V$  - объем гидронасоса, см<sup>3</sup>;

$10^{-6}$  - переводной коэффициент.

В таблице 2.1 представлен рабочий объем гидронасоса для номинального давления, подача на номинальном режиме известна  $Q_{\text{н}} = 134,4$  л/мин или 0,0022 м<sup>3</sup>/с.

Тогда согласно формулы 2.13 для двух гидронасосов получим подачу

$$Q_{\text{н}} = 0,0022 \cdot 2 = 0,0044 \text{ м}^3/\text{с}$$

Отсюда согласно формуле 2.12 скорость перемещения штоков гидроцилиндров рукояти и ковша при копании составит

$$v_{\text{п}} = \frac{4 \cdot 0,0044}{3,14 \cdot 0,16^2} = 0,22 \text{ м/с.}$$

Пересчитаем скорость движения штока гидроцилиндра рукояти в скорость движения режущей кромки при копании рукоятью

$$v_{\text{п}}^{\text{р}} = v_{\text{п}} \cdot \frac{l_{\text{коп}}^{\text{р}}}{L_{\text{п}} \cdot k_{\text{п}}^i} \quad (2.18)$$

где  $L_{\Pi}'$  – ход поршня гидроцилиндра в процессе копания, м;  $k_{\Pi}^i$  – коэффициент, определяющий величину хода поршня относительно полного хода  $i$ -го вида оборудования.

$$L_{\Pi}' = L_{\Pi} \cdot k_{\Pi} \quad (2.19)$$

где  $L_{\Pi}$  – ход поршня гидроцилиндра, м.

$$k_{\Pi}^i = \frac{\sin \frac{\gamma_{\text{н}} - \gamma_{\text{в}}}{2}}{\sin \frac{\alpha_{\text{р}}}{2}} \quad (2.20)$$

где  $\gamma_{\text{н}}, \gamma_{\text{в}}$  - углы между кинематическими звеньями стрелой и рукоятью в начальном и конечном положениях, град.;  $\alpha_{\text{р}}$  - полное угловое перемещение рукояти, град [22].

Учитывая то, что угол подъема рукояти  $120^{\circ}$ , полное перемещение рукояти  $-132^{\circ}$ , рассчитаем  $k_{\Pi}^{\text{р}}$

$$k_{\Pi}^{\text{р}} = \frac{\sin \frac{120}{2}}{\sin \frac{132}{2}} = \frac{0,86}{0,91} = 0,94$$

Отсюда скорость перемещения режущей кромки ковша при копании рукоятью

$$v_{\Pi}^{\text{р}} = 0,22 \cdot \frac{6,1}{1,6 \cdot 0,94} = 0,89 \text{ м/с.}$$

Таким же образом определим скорость перемещения режущей кромки ковша при копании ковшом.

Путь копания ковша, радиус копания которого 1,17 м составит

$$l_{\text{коп}}^{\text{к}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 1,17 \cdot 120}{360} = 2,45 \text{ м.}$$

Полный угол поворота ковша составляет  $140 \dots 160^{\circ}$ , примем  $160^{\circ}$  [12]. Фактический угол поворота ковша принят  $120^{\circ}$ , отсюда рассчитаем  $k_{\Pi}^k$

$$k_{\Pi}^k = \frac{\sin \frac{120}{2}}{\sin \frac{160}{2}} = \frac{0,86}{0,98} = 0,88.$$

$$v_{\Pi}^k = 0,22 \cdot \frac{2,45}{1,0 \cdot 0,88} = 0,62 \text{ м/с}$$

Учитывая то, что копание рукоятью и ковшом совмещенное определим среднюю скорость копания

$$v_{\Pi}^{pk} = v_{\Pi}^p \cdot \frac{\gamma_p'}{\gamma_p' + \gamma_k'} + v_{\Pi}^k \cdot \frac{\gamma_k'}{\gamma_p' + \gamma_k'} = \frac{(v_{\Pi}^p \cdot \gamma_p') + (v_{\Pi}^k \cdot \gamma_k')}{\gamma_p' + \gamma_k'} \quad (2.21)$$

где  $\gamma_p'$ ,  $\gamma_k'$  - соответственно углы перемещения рукояти, ковша.

$$v_{\Pi}^{pk} = \frac{0,89 \cdot 40^{\circ} + 0,62 \cdot 80^{\circ}}{120^{\circ}} = 0,71 \text{ м/с.}$$

Далее определим величину мощности, затрачиваемую для комбинированной технологии копания

$$N_k = P_k^{cp} \cdot v_{\Pi}^k \quad (2.22)$$

$$N_k = 43,45 \cdot 0,71 = 31,05 \text{ кВт}$$

Далее определим величину затрачиваемой мощности двигателем внутреннего сгорания

Согласно формулы (46) получим

$$N_k^{двс} = \frac{31,05}{0,54 \cdot 0,97 \cdot 0,9} = 65,85 \text{ кВт}$$

Время копания определяется по следующей формуле [9]:

$$t_k = \frac{q \cdot K_1 \cdot K_H}{N_k \cdot K_p} \quad (2.23)$$

где  $q$ - вместимость ковша экскаватора, м<sup>3</sup>;

$K_H$ - коэффициент наполнения ковша грунтом;

$K_1$ - коэффициент удельного сопротивления копания;

$N_k$ - мощность необходимая для копания, кВт;

$K_p$ - коэффициент разрыхления грунта в ковше.

$$t_k = \frac{1,25 \cdot 0,95 \cdot 205}{31,05 \cdot 1,25} = 6,27 \text{ с.}$$

Проведя расчет, были определены мощность, затрачиваемая двигателем для копания 65,85 кВт и время копания 6,27 с.

### 3. РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ЗАТРАЧИВАЕМОЙ НА ПОДЪЕМ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ

#### 3.1. Расчет затраченной работы экскаватора ЭО-5126

##### 3.1.1. Определение работы на подъём рабочего оборудования с грунтом ЭО – 5126

Затраченная работа определяется по формуле (11) [22]:

$$A_{\text{под}} = \frac{g \cdot \sum m_i \cdot h_i}{\eta_c} \quad (3.1)$$

где  $g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$m_i$  - масса  $i$ -ого оборудования, т;

$h_i$  - проекция на вертикаль перемещения центра масс  $i$ -ого оборудования, м;

$\eta_c$  - механический КПД стрелового механизма

$$\eta_c = \eta_{\text{ш}}^r \cdot \eta_{\text{гц}} \quad (3.2)$$

$\eta_{ш}^r$  - КПД одного шарнира (для смазанного шарнира  $\eta_{ш} \approx 0,95$ );  $r$  – количество шарниров ( $r=3$ );  $\eta_{гц}$  - механический КПД гидроцилиндра, учитывающий потери на трение в парах поршень-зеркало и шток - накидная гайка ( $\eta_{гц} \approx 0,98$ ).

$$\eta_c = 0,95^3 \cdot 0,98 = 0,84$$

Для определения центра масс рекомендуется использовать современные программные продукты, в частности, программу КОМПАС - 3 D V 14.

В данной программе имеется специальная вкладка «Сервис» с опцией «МЦХ» (см. Рис. 3.1).

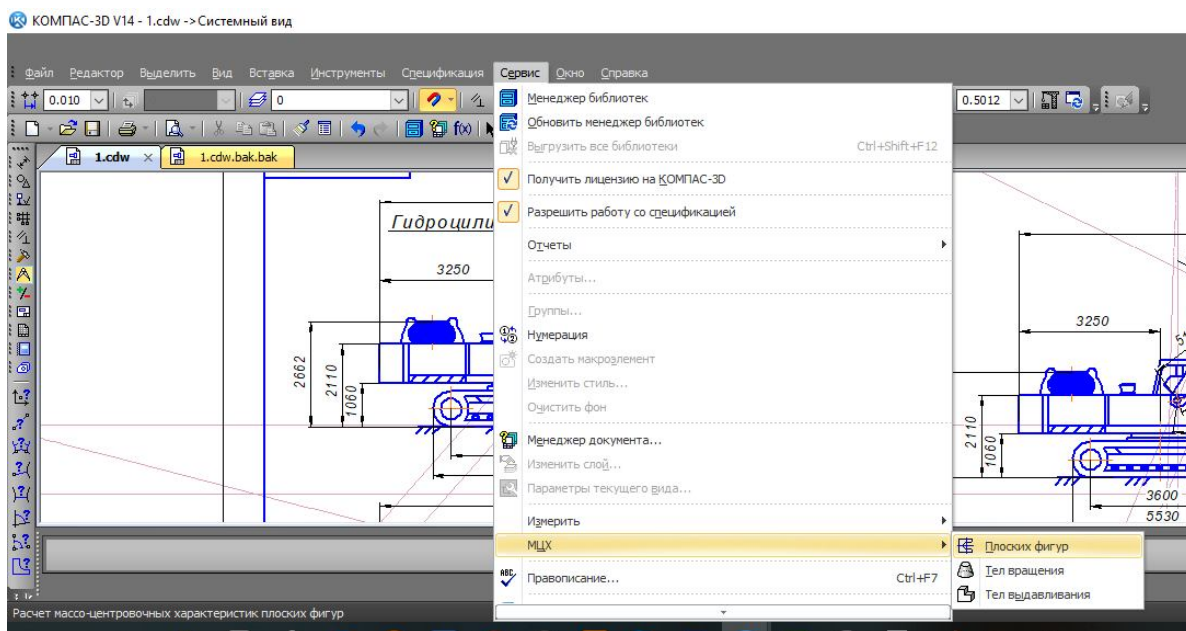


Рис. 3.1. Вкладка «Сервис» с опцией «МЦХ» программы КОМПАС - 3 D V 14 для определения центра масс

Далее после нажатия на кнопку «плоских фигур» в нижнем левом углу наводится мышью стрелка на кнопку ручное рисование границ.

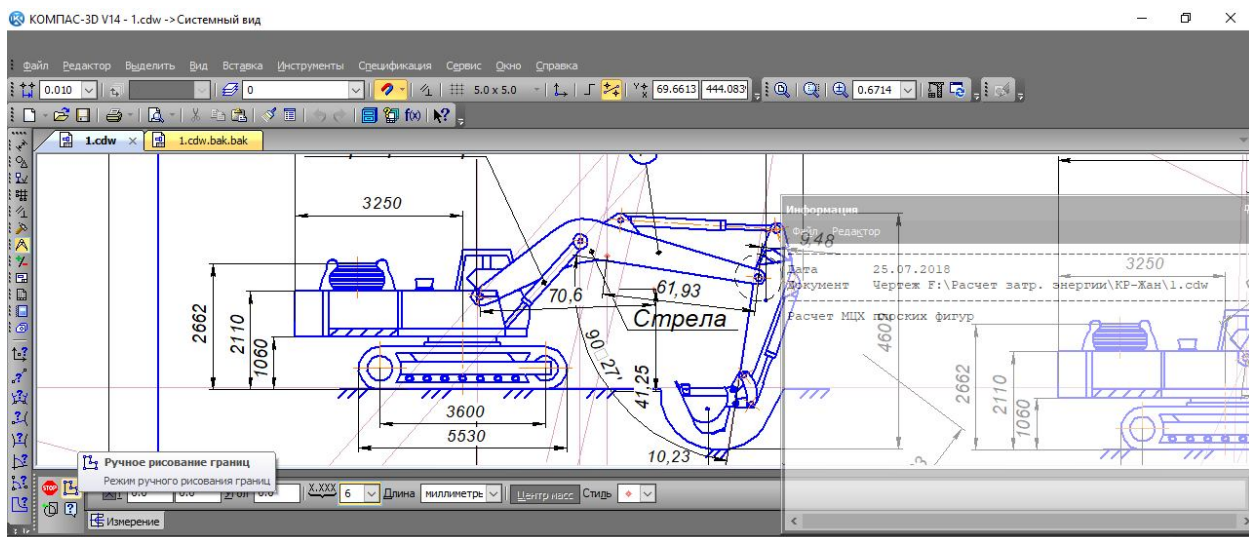


Рис. 3.2 . Фрагмент определения центра масс при использовании  
опции «ручное рисование границ»

Далее производится обведение границ интересующего нас элемента, например, стрелы.

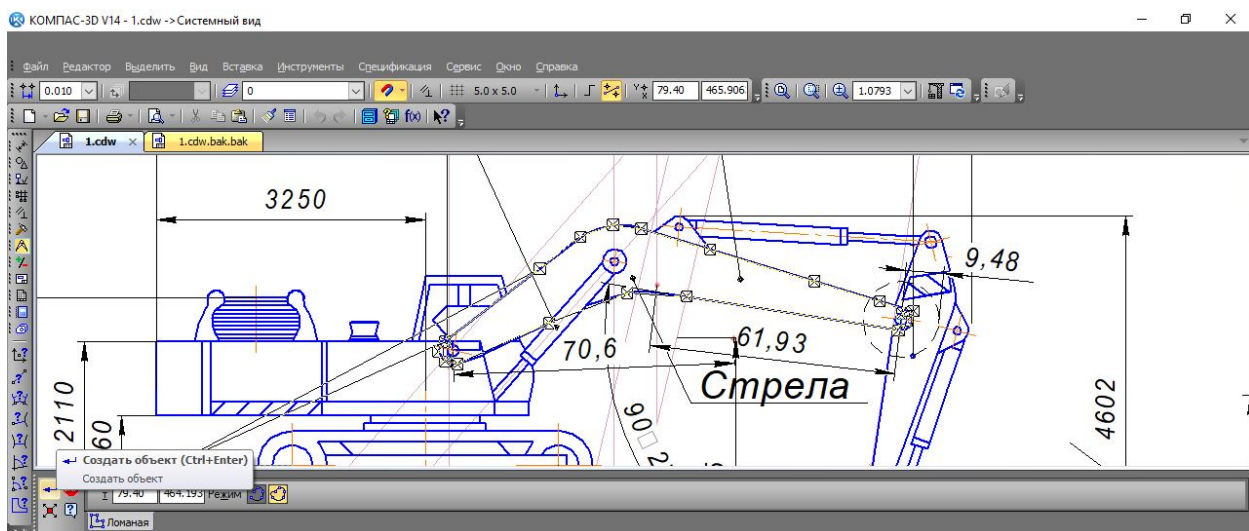


Рис. 3.3. Фрагмент определения центра масс при использовании  
опции «создать объект»

После чего наводим мышью стрелку и нажимаем на кнопку в левом нижнем углу «создать объект». Появляется диалоговое окно «свойства объекта».



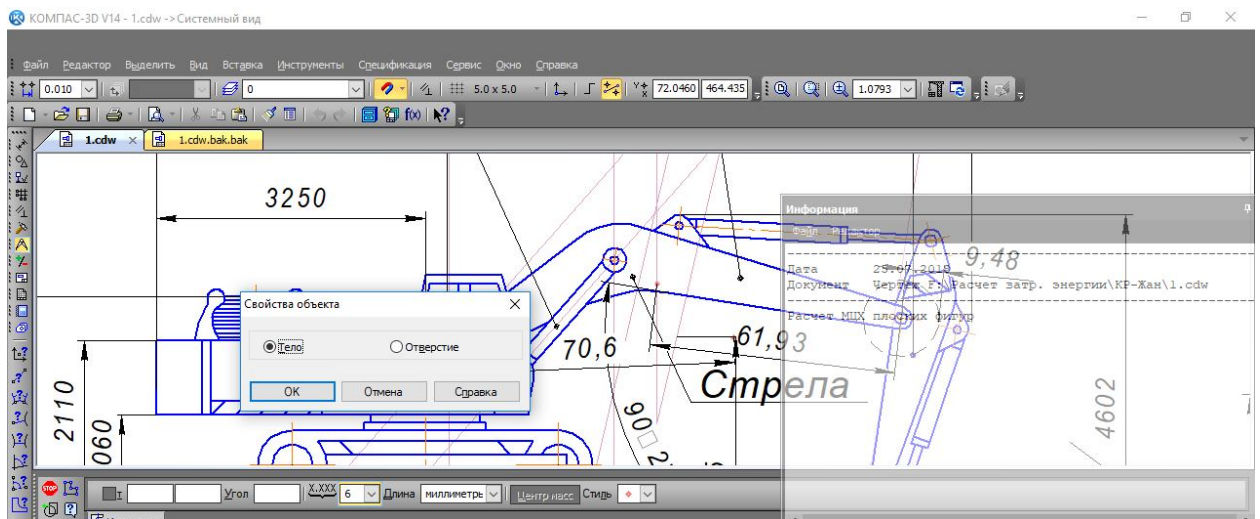


Рис. 3.4. Фрагмент определения центра масс при использовании вкладки «Свойства объекта»

Рассматриваемый объект является телом, поэтому достаточно нажать кнопку «ОК», в результате чего выводится информация о центре тяжести исследуемой стрелы. В диалоговом окне «Информация» содержится пункт «Центр масс», т.е. положение его относительно осей  $X$  и  $Y$ .

Т.к. не всегда существует возможность программы автоматически устанавливать точку центра масс, студент может самостоятельно отмерить полученные расстояния относительно осей абсциссы и ординаты, с использованием опции во вкладке «Размеры» - «Линейные размеры».

С использованием предложенного метода определения центра масс можно определять центр тяжести совокупности объектов, например, стрелы, рукояти и ковша.

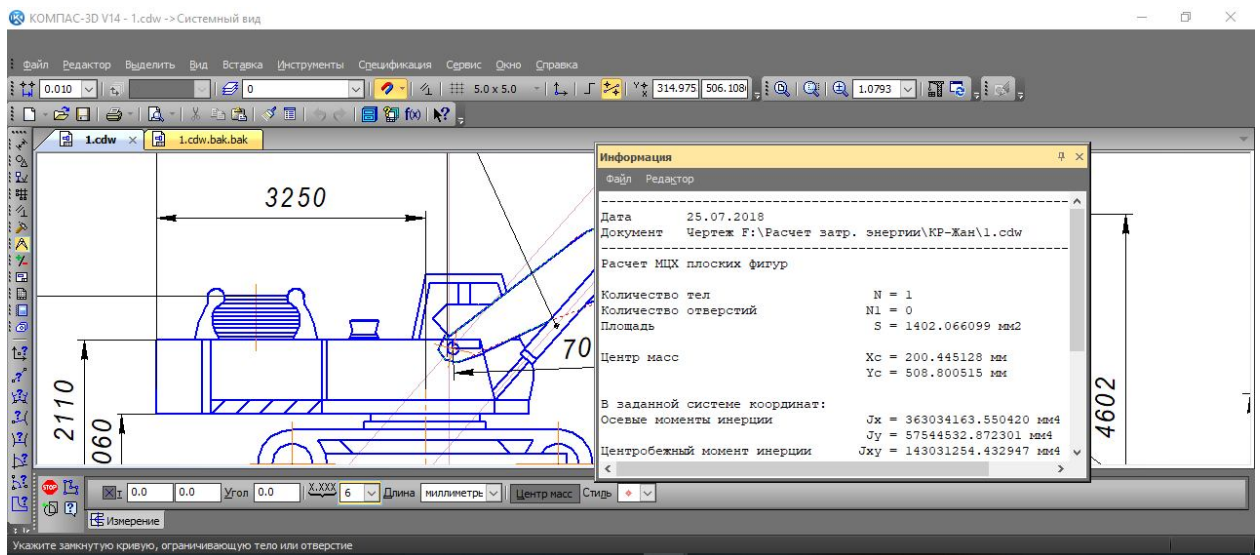


Рис. 3.5. Фрагмент определения центра масс при использовании вкладки «Информация»

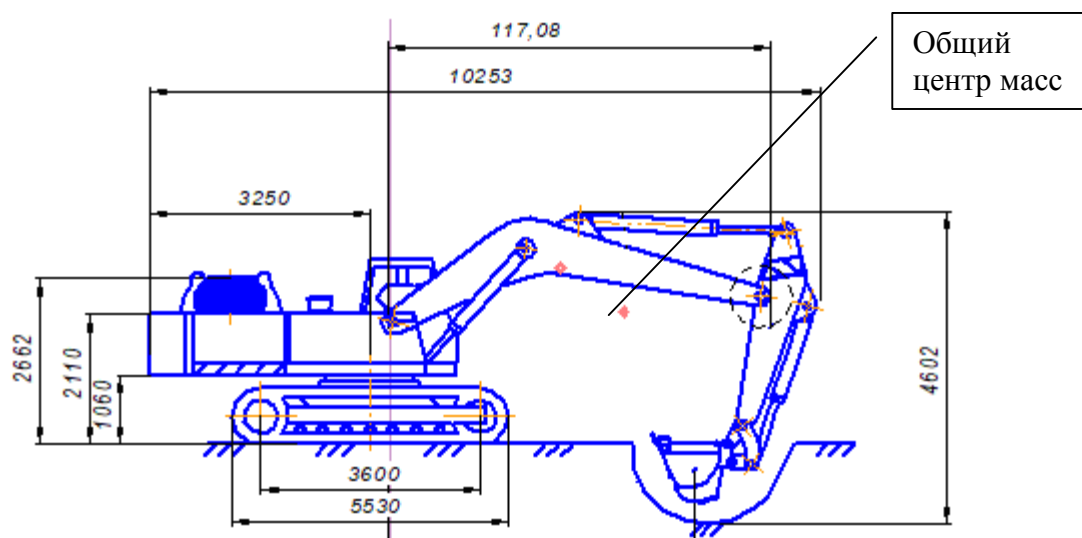


Рис. 3.6. Начальная позиция траектории подъема рабочего оборудования экскаватора ЭО- 5126

Проекция на вертикаль перемещения центра масс совокупности элементов рабочего оборудования определяется графическим методом. На рисунке 3.6 показаны центры масс в начальной и конечной позиции подъема рабочего оборудования.

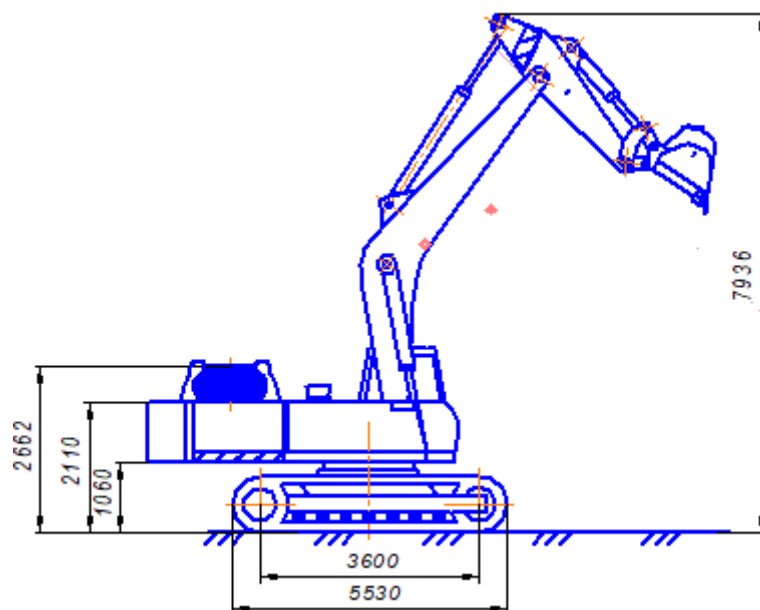


Рис. 3.7. Конечная позиция траектории подъема рабочего оборудования экскаватора ЭО - 5126

В результате измерения величина смещения общего центра масс элементов рабочего оборудования составила 2,88 м.

Учитывая массу рабочего оборудования 8,9 т и массу грунта в ковше 1,875 т, определим величину затраченной работы при подъеме гидроцилиндрами стрелы рабочего оборудования экскаватора

$$A_{\text{под}} = \frac{9,81 \cdot (8900 + 1875) \cdot 2,88}{0,84} = 358,87 \text{ кДж}.$$

### ***3.1.2. Определение скорости, продолжительности перемещения штоков гидроцилиндров стрелы ЭО***

Подача насоса, частота вращения с учетом передаточного отношения были определены в предыдущем разделе (см. формулу 2.16).

Параметры гидроцилиндров стрелы ЭО-5126 [6]

Z, шт	D, м	Ход штока, мм	$n_n$ , об/мин	$\eta_0$
2	0,16	1250	1200	0,95

Скорость перемещения поршня при подаче рабочей жидкости в штоковую полость найдём по следующей зависимости:

$$v_{ш} = \frac{4 \cdot Q_n}{\pi \cdot z \cdot (D^2 - d^2)} \quad (3.3)$$

где  $Q_n$  - подача насоса, подача 2-х насосов  $Q_n=0,0044 \text{ м}^3/\text{с}$ ;

$z$  - число гидроцилиндров на элементе рабочего оборудования, шт.;

$D$  - диаметр поршня гидроцилиндра, м,  $D=0,16 \text{ м}$  [5];

$d$  - диаметр штока гидроцилиндра,  $d=0,1 \text{ м}$ .

$$v_{ш} = \frac{4 \cdot 0,0044}{2 \cdot \pi \cdot (0,16^2 - 0,1^2)} = 0,18 \text{ м/с.}$$

Тогда получается, что продолжительность операции подъёма рабочего оборудования будет равна:

$$t_{ш} = \frac{S_{про}}{v_{ш}} \quad (3.4)$$

где  $S_{про}$  - общий путь подъёма рабочего оборудования ЭО, м.

Учитывая крайние точки перемещения стрелы, рукояти и ковша графоаналитически получим величину пути их перемещения. Высота подъёма рабочего оборудования согласно схемам (рис. 3.6, 3.7) составляет 1,11 м, следовательно определим  $k_{п}^c$ .

$$k_{\Pi}^c = \frac{\sin \frac{40}{2}}{\sin \frac{45}{2}} = \frac{0,34}{0,38} = 0,89$$

Далее определим ход штоков гидроцилиндров стрелы ЭО, длина штока гидроцилиндра стрелы 1,25 м

$$L_{\text{ш}}^c = k_{\Pi}^c \cdot L_{\text{ш}}^{\text{сз}} = 0,89 \cdot 1,25 = 1,11 \text{ м}$$

Отсюда

$$t_{\text{по}} = \frac{1,11}{0,18} = 6,1 \text{ с}$$

### **3.1.3 Определение необходимой мощности затраченной на подъем рабочего оборудования**

$$N_{\text{про}} = \frac{A_{\text{про}}}{t_{\text{про}}} \quad (3.5)$$

где  $N_{\text{про}}$  - мощность, кВт;

$t_{\text{про}}$  - время на подъем рабочего оборудования,  $t_{\text{про}} = 6,1 \text{ с}$ .

$$N_{\text{про}} = \frac{358,87}{6,1} = 58,76 \text{ кВт}$$

Разделив данные значения на величину 0,52, получим реализуемую мощность двигателя при подъеме рабочего оборудования.

$$N_{\text{про}}^{\text{ДВС}} = 58,76 / (0,54 \cdot 0,97 \cdot 0,9) = 124,65 \text{ кВт}$$

Проведя расчет, была определена мощность двигателя затрачиваемая на подъем рабочего оборудования стреловым механизмом ЭО, которая составила 124,65 кВт.

## 4. РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ЗАТРАЧИВАЕМОЙ НА ПОВОРОТ ПЛАТФОРМЫ

### 4.1. Расчет мощности затрачиваемой на поворот платформы

В поворотных движениях выделяют разгон поворотной части экскаватора с груженным ковшом до максимальной угловой скорости, равномерное вращение с этой скоростью, торможение до полной остановки, разгон в обратном направлении с порожним ковшом до максимальной скорости, равномерное вращение с этой скоростью, торможение до полной остановки. Интервалы времени, в течении которых выполняется перечисленные этапы движения, обозначены на рисунке 6 символами  $t_{рг}$ ,  $t_{рдг}$ ,  $t_{тг}$ ,  $t_{рп}$ ,  $t_{рдп}$ ,  $t_{тп}$ . Интервалы этих движений могут следовать одно за другим непрерывно в случаи выгрузки грунта в отвал, которая начинается в конце третьего интервала и заканчивается в начале четвертого, или с разрывом для выгрузки грунта в транспортное средство. В зависимости от требуемых угловых перемещений из описанного движения могут быть исключены интервалы равномерных вращений  $t_{рдг}$ ,  $t_{рдп}$  [15].

Одновременно с поворотом платформы выполняются маневровые движения рабочего оборудования (подъем и вынос ковша при движении рабочего оборудования на выгрузку, уменьшения вылета и опускания рабочего оборудования при возвратном движении), чем обуславливается вариация момента  $J_{г(п)}$  инерции.

#### *4.1.1. Определения момента инерции платформы с рабочим оборудованием экскаватора*

Момент инерции представляется величиной постоянной, вычисленной при вылете ковша, равном  $2/3$  его максимального вылета для лопат и от  $2/3$  до  $3/4$  этого вылета для драглайнов. В других вариантах момент

инерции может быть представлен, например, линейной квадратичной и другими функциями времени.

Для лопат момент инерции ( $\text{т} \cdot \text{м}^2$ ) поворотной части с груженным ковшом определяется по эмпирической зависимости

$$J_{\Gamma} = 1,2 \cdot m_{\text{э}}^{5/3} \quad (4.1)$$

где  $m_{\text{э}}$  - масса экскаватора, т.

$$J_{\Gamma} = 1,2 \cdot 32^{5/3} = 387,1 \text{ т} \cdot \text{м}^2$$

Момент инерции ( $\text{т} \cdot \text{м}^2$ ) при порожнем ковше определяется

$$J_{\Pi} = J_{\Gamma} - m_{\Gamma} \cdot r_{\Gamma}^2 \quad (4.2)$$

где  $m_{\Gamma}$  - масса грунта в ковше, т;

$r_{\Gamma}$  - радиус центра масс грунта в ковше на расчетном вылете, м.

$$J_{\Pi} = 387 - 1,875 \cdot 2,6^2 = 373,58 \text{ т} \cdot \text{м}^2$$

#### ***4.1.2. Определение движущего момента платформы с рабочим оборудованием экскаватора***

Движущий момент  $M_{\text{д}}$  зависит от типа двигателя. Характеристики изменения этого момента во времени для наиболее распространенных приводов экскаваторов чаще всего лежат между кривыми I и II, представленные на рисунке 4.2[15]. Характеристики I достаточно близко соответствуют приводу поворота с помощью гидродвигателей или фрикционных муфт и тормозов. Эта характеристика при всех прочих равных условиях обеспечивает оптимальную продолжительность поворота.

В применявшихся до последнего времени гидроприводах экскаваторов, как правило, продолжительность нарастания момента мала и лежит в пределах  $t_0 = 0,06 \div 0,12$  с, что приводит к динамическим перегрузкам механизмов привода и элементов металлоконструкций и снижает их долговеч-

ность. Гидравлические системы управления фрикционными муфтами и тормозами привода поворота обладают такими же недостатками.

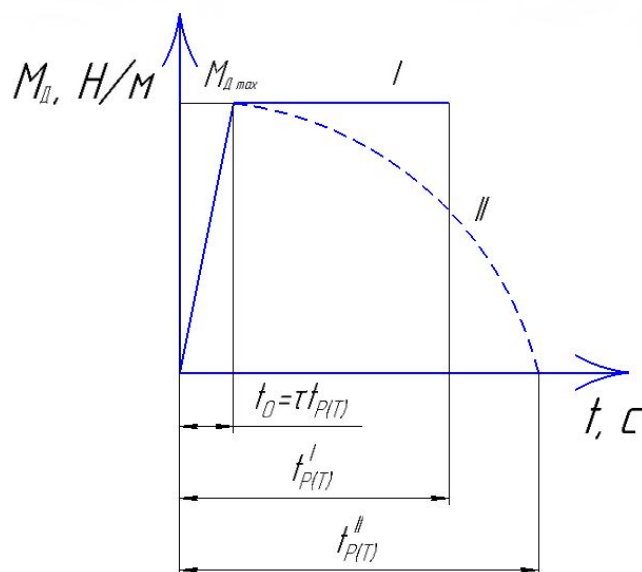


Рис. 4.2. Характеристика изменения движущего момента во времени.

Максимальное значение движущего момента ограничено условиями сцепления движителя с грунтом, не допускающими его поворота, допустимыми ускорениями по физическим возможностям машиниста, а также динамическими нагрузками на механизм и металлоконструкции.

Движущий момент определяется как

$$M_d = \frac{\sqrt[3]{\frac{J_{\text{п}} \cdot a_{\text{г.ср}}}{\beta} \cdot \left(\frac{N_d}{c}\right)^2}}{u} \quad (4.3)$$

где  $u$  – передаточное число поворотного механизма;

$N_d$  - мощность двигателя,  $N_d = 132$  кВт;

$J_{\text{п}}$  - момент инерции при порожнем ковше,  $\text{т} \cdot \text{м}^2$ ;

$a_{\text{г.ср}}$  - коэффициент пропорциональности;

$c$  – коэффициент пропорциональности (принимается в среднем  $0,8 \div 1,0$  для приводов, соответствующих характеристикам I);



$\beta'$  - полное угловое перемещение поворотной платформы в одном направлении при двухэтапном движении, включающем разгон и торможение (принимается равным  $\beta' = 3,14$  рад).

$k_{им}$  - коэффициент использования мощности двигателя при выполнении технологических операций с учетом привода вспомогательных устройств, а также запаса мощности для обеспечения долговременной работы двигателя и преодоления кратковременных случайных перегрузок ( $\eta_{им} = 0,72 \dots 0,75$ ),

Определим передаточное число поворотного механизма

$$u = \frac{\pi \cdot n_{д}}{30} \cdot \sqrt[3]{\frac{J_{п} \cdot a_{г.ср}}{c^2 \cdot \beta' \cdot N_{д}}} \quad (4.4)$$

где  $n_{д}$  - частота вращения коленчатого вала,  $n_{д} = 1700$  об/мин.

Коэффициент пропорциональности  $a_{г.ср}$  вычисляется по формуле

$$a_{г.ср} = \frac{\theta + \left(\frac{1}{\eta_{п}} + \eta_{п}\right)}{2} \quad (4.5)$$

где  $\eta_{п}$  - КПД механизма поворота,  $\eta_{п} = 0,6$ ;

$\theta$  - коэффициент пропорциональности,  $\theta = 0,25$ .

$$a_{г.ср} = \frac{0,25 + \left(\frac{1}{0,6} + 0,6\right)}{2} = 1,25$$

$$u = \frac{3,14 \cdot 1470}{30} \cdot \sqrt[3]{\frac{373,58 \cdot 1,25}{1^2 \cdot 3,14 \cdot 132 \cdot 0,72}} = 179,98$$

$$M_{\text{д}} = \frac{\sqrt[3]{\frac{373,58 \cdot 1,25}{3,14} \cdot \left(\frac{132 \cdot 0,72}{1}\right)^2}}{179,98} = 0,617 \text{ кН}\cdot\text{м}$$

При постоянном движущем моменте максимальная мощность поворотного движения будет иметь место в конце разгона платформы при обратном вращении.

Определим мощность, затрачиваемую на поворот платформы по формуле

$$N_{\text{п}} = M_{\text{д}} \cdot u \cdot \omega_{\text{пл}} \cdot \eta_{\text{п}} \quad (4.6)$$

где  $\omega_{\text{пл}}$  - угловая скорость поворотной платформы, рад/с.

Определим угловую скорость поворотной платформы по формуле

$$\omega_{\text{п}} = c \cdot \sqrt{\frac{M_{\text{д}} \cdot u \cdot \beta'}{J_{\text{п}} \cdot a_{\text{г.ср}}}} \quad (4.7)$$

- при порожнем повороте

$$\omega_{\text{п}} = 1 \cdot \sqrt{\frac{0,617 \cdot 160 \cdot 3,14}{373,58 \cdot 1,25}} = 0,854 \text{ рад/с}$$

$$N_{\text{п}} = 0,617 \cdot 179,98 \cdot 0,854 \cdot 0,6 \approx 57,02 \text{ кВт}$$

Разделив данное значение на величину 0,6, получим реализуемую мощность двигателя, которая затрачивается на поворот платформы

$$N_{\text{п}}^{\text{ДВС}} = 57,02 / 0,6 = 110 \text{ кВт}$$

Учитывая то, что угловая скорость  $\omega_{\text{п}} = 0,854$  рад/с, определим опосредованно продолжительность порожнего поворота, отсюда

$$t_{\text{п}} = \frac{\beta'}{\omega_{\text{п}}} = \frac{3,14}{0,854} = 3,67 \text{ с.}$$

Произведем вычислительные операции для поворота платформы экскаватора с груженым ковшом

$u_r=181,0$ ;  $M^r_\partial = 0,617$  кН·м;  $\omega_r = 0,853$  рад/с;  $N_{\text{пр}}=57,29$  кВт;  $N^{\text{ДВС}}_r=110,00$  кВт.

Далее определим продолжительность поворота с груженым ковшом

$$t_r = \frac{\beta'}{\omega_r} = \frac{3,14}{0,853} = 3,69 \text{ с}$$

Таким образом, мощность ДВС затраченная для поворота платформы на выгрузку ковша, мощность ДВС затраченная для возвращения платформы в забой 110,00 кВт, при этом продолжительность поворота платформы с порожним ковшом на 0,02 с меньше по сравнению с поворотом платформы с груженым ковшом.

## **5. РАСЧЕТ МОЩНОСТИ ЗАТРАЧИВАЕМОЙ ЭКСКАВАТОРОМ НА РАЗГРУЗКУ**

В практике проектирования гидравлических экскаваторов утвердилась методика определения энергетических параметров через работу активных сил, затрачиваемую на преодоление сопротивления грунта копанию и подъему заполнившего ковш грунта и элементов рабочего оборудования.

Работу на подъем грунта и участвующих в копании элементов рабочего оборудования определим по формуле 2.6, 2.7 [15, 22].

Перемещение  $h_i$  вычисляют по разности высотных отметок центра масс  $i$ -го элемента в конце и начале операции. Эта величина может быть как положительной, если уровень центра масс элемента в конце копания окажется выше начального уровня, так и отрицательной – в противном случае.

В операции «разгрузка грунта» поднимаются ковш с грунтом и его рукоять. Следовательно, чтобы определить работу необходимо найти мас-

су ковша с грунтом, массу рукояти и перемещение  $h$ , которое они совершают при операции.

Масса и вес рукояти, ковша, грунта в ковше были определены в разделе 2.

Далее определим перемещение ковша и рукояти. При разгрузке ковш поднимается на расстояние равное 1275 мм, т.е на 1,28 м, что видно из рисунка 5.1.

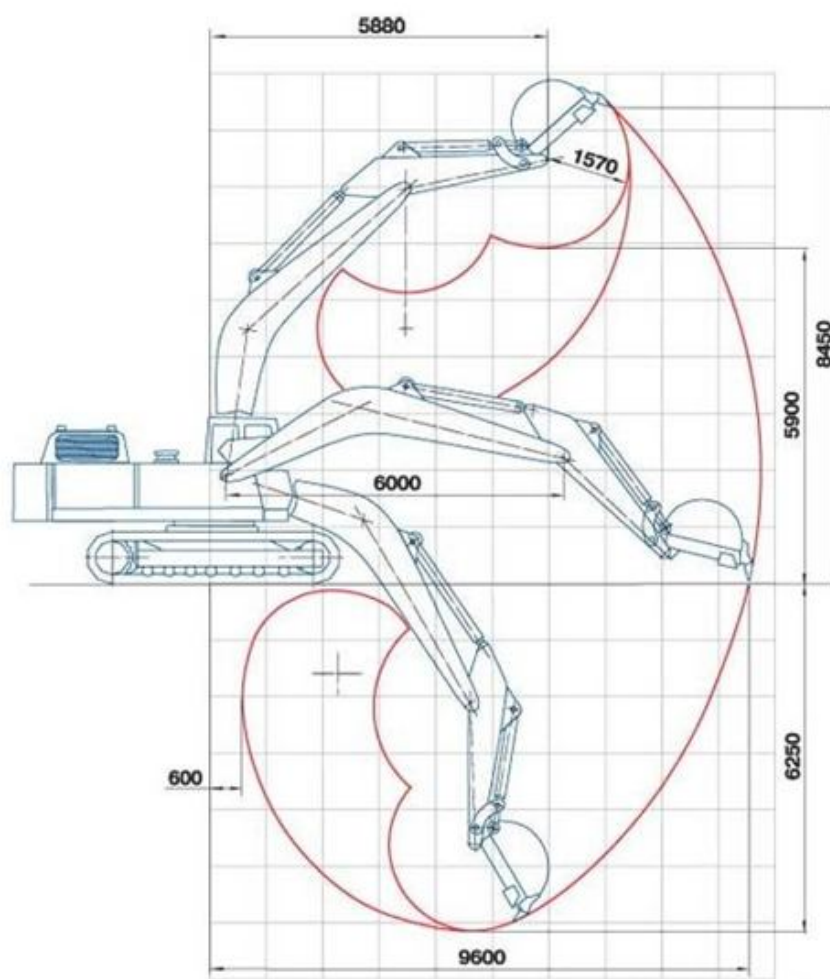


Рис. 5.1. Рабочий ход экскаватора ЭО-5126

При разгрузке грунта будем принимать три положения рабочего оборудования, для равномерности распределения грунта в кузове автосамосвала.

Во втором положении и третьем положении перемещение совершать будут как ковш с грунтом, так и рукоять экскаватора. Высота подъема центра масс рукояти найдем по рисунку 5.3, следуя геометрическим правилам, сделав допущение, что в начальной точке рукоять стоит под углом  $90^\circ$  к горизонту.

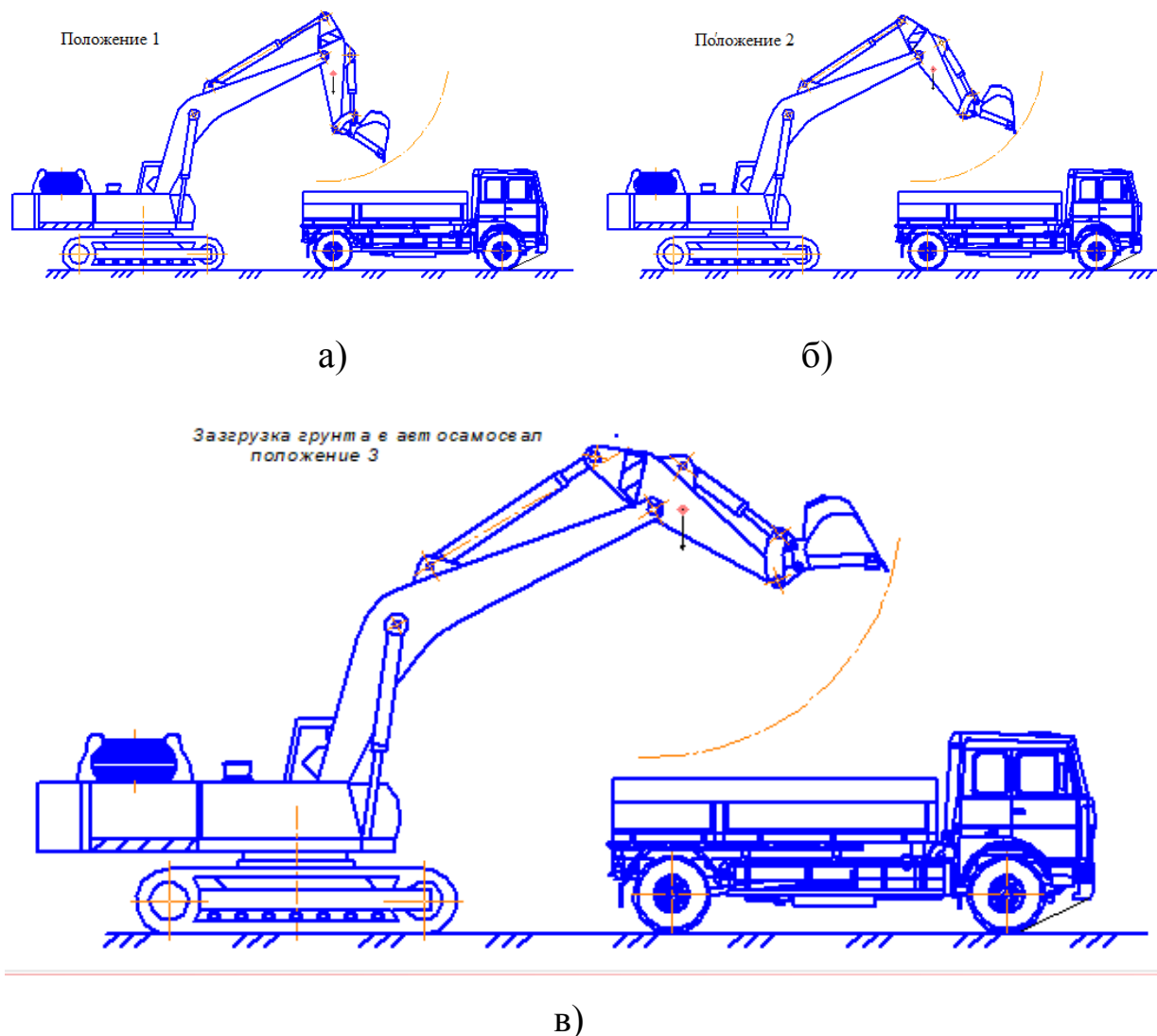


Рис. 5.2. Схема выгрузки грунта в автосамосвал а) 1-е положение, б) 2-е положение, в) 3-е положение

2-е положение: принимаем угол поворота рукояти равным  $\alpha=60^\circ$ .

Рассматривая треугольник  $AOB$  найдем длину  $OB$ :

$$OB = OA / \sin \alpha_2 = 1470 / \sin 60^\circ = 1697,4 \text{ мм.}$$

$$\text{При этом } CB = OB - R/2 = 1697,4 - 1470 = 227,4 \text{ мм}$$

Высоту  $h$  найдем в маленьком треугольнике  $ChB$ :

$$h = \sin \alpha_2 \cdot CB = \sin 60^\circ \cdot 227,4 = 197 \text{ мм}$$

3-е положение: аналогично предыдущему найдем значения для третьего положения рукояти, учитывая что угол поворота составит  $30^\circ$ .

Рассматривая треугольник  $AOB$  найдем длину  $OB$ :

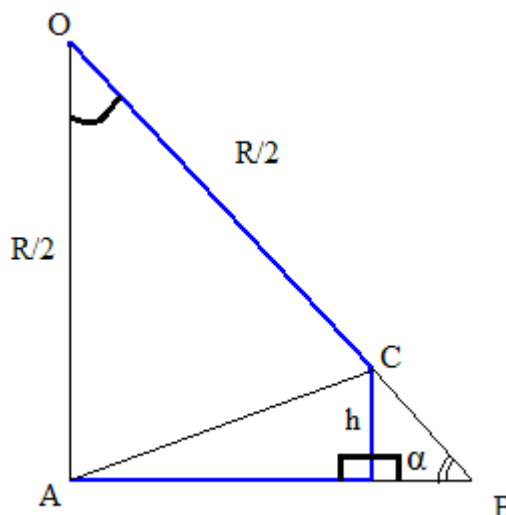


Рис. 5.3. Перемещение рукояти ковша

$$OB = OA / \sin \alpha_3 = 1470 / \sin 30^\circ = 2940 \text{ мм.}$$

$$\text{При этом } CB = OB - R/2 = 2940 - 1470 = 1470 \text{ мм}$$

Высоту  $h$  найдем в маленьком треугольнике  $ChB$ :  $h = \sin \alpha_3 \cdot CB = \sin 30^\circ \cdot 1470 = 735 \text{ мм.}$

Далее составим для всех трех положений рукояти и ковша таблицу геометрических параметров.

Таблица 5.1

**Геометрические параметры положений рукояти и ковша**

№ п/п	Высота подъема ковша, м	Высота подъема рукояти, м	Масса ковша с грунтом, кг	Масса рукояти, кг
1	1,28	0	3565	2600
2	1,28	0,197	3565	2600
3	1,28	0,735	3565	2600

Рассчитаем теперь работу, совершаемую во всех трех положениях разгрузки по формуле (11)

В первом положении будет перемещаться только заполненный ковш, то есть работа перемещение рукояти будет равна нулю. И тогда работа, затрачиваемая на процесс разгрузки будет равна:

$$A'_1 = (m_k + m_k) \cdot h_k \cdot g$$

$$A'_1 = (1690 + 1875) \cdot 1,28 \cdot 9,81 = 44,77 \text{ Дж}$$

Во втором положении:  $A'_2 = ((m_k + m_k) \cdot h_k + m_p \cdot h_p) \cdot g$

$$A'_2 = ((1690 + 1875) \cdot 1,28 + 2600 \cdot 0,197) \cdot 9,81 = 49,79 \text{ кДж}$$

В третьем положении:

$$A'_3 = ((1690 + 1875) \cdot 1,28 + 2600 \cdot 0,735) \cdot 9,81 = 63,52 \text{ кДж}$$

Среднюю работу найдем по формуле

$$A_{cp} = (A'_1 + A'_2 + A'_3) / (3 \cdot \eta_c)$$

$$A_{cp} = (44,77 + 49,79 + 63,52) / (3 \cdot 0,84) = 62,71 \text{ кДж}$$

Для того, что бы перейти от работы к мощности, необходимо ее разделить на время операции разгрузки  $t_p$

$$N_p = A_{cp} / t_p,$$

Среднее время разгрузки можно рассчитать по методике приведенной выше (см. раздел 1, 2), в нашем примере примем равным 3,5сек. Отсюда

$$N_p = 62,71 / 3,5 = 17,92 \text{ кВт}$$

$$N_p^{\text{двс}} = \frac{17,92}{0,54 \cdot 0,97 \cdot 0,9} = 38,0 \text{ кВт}.$$

В среднем экскаватор для разгрузки ковша затрачивает 38 кВт мощности двигателя.

## 6. РАСЧЕТ ЧАСОВОГО РАСХОДА ТОПЛИВА ОДНОКОВШОВОГО ЭКСКАВАТОРА ЭО - 5126

### 6.1 Расчет часового расхода топлива с учетом корректирования удельного расхода топлива по частоте вращения

$$G = 1,03 \cdot N_N \cdot g_e \cdot K \cdot 10^{-3} \quad (6.1)$$

где  $N_N$  – номинальная мощность двигателя, кВт;

$g_e$  - удельный расход топлива,  $g_e=220$  г/кВтч;

$K$  - коэффициент учитывающий условия работы машины в течении смены.

Коэффициент  $K$  определяется по следующей формуле:

$$K = 1,03 \cdot K_{им} \cdot K_{в} \cdot K_{и} \cdot K_{тим} \quad (6.2)$$

где  $K_{им}$  – степень использования ДВС по мощности;

$K_{в}$  – коэффициент учитывающий, степень использования машины по времени;

$K_{и}$  – коэффициент учитывающий расход топлива в зависимости от степени износа машины;

$K_{тим}$  – коэффициент учитывающий расход топлива в зависимости от использования ДВС по мощности.

Реализуемая мощность ДВС

-на копание

$$N_k = 65,85 \text{ кВт.}$$

-на подъем

$$N_{про} = 124,65 \text{ к Вт.}$$

-на поворот платформы

$$N_{ит} = 110 \text{ кВт.}$$

-на разгрузку

$$N_p = 38 \text{ кВт.}$$



-на поворот платформы в забой

$$N_{\text{шт}} = 110 \text{ кВт.}$$

Определяем коэффициент использования по мощности

$$K_{\text{ИМ}} = \frac{N_i}{N_{\text{НОМ}}} \quad (6.3)$$

где  $N_i$  – величина затрачиваемой мощности на  $i$ -ю технологическую операцию,  $N_{\text{НОМ}}$  – мощность двигателя рассматриваемого ЭО составляет ,  
 $N_{\text{НОМ}} = 132 \text{ кВт:}$

-на копание

$$K^{\text{к}}_{\text{ИМ}} = \frac{65,85}{132} = 0,50$$

-на подъем

$$K^{\text{про}}_{\text{ИМ}} = \frac{124,65}{132} = 0,94$$

-на поворот платформы

$$K^{\text{пр}}_{\text{ИМ}} = \frac{110,00}{132} = 0,83$$

-на разгрузку

$$K^{\text{р}}_{\text{ИМ}} = \frac{38}{132} = 0,28$$

-на поворот платформы в забой

$$K^{\text{шт}}_{\text{ИМ}} = \frac{110,00}{132} = 0,83$$

Средняя величина  $K^{\text{ср}}_{\text{ИМ}}$  составит

$$K^{\text{ср}}_{\text{ИМ}} = \frac{\sum_{i=1}^{T_{\text{ц}}} K_{\text{ИМ}i} \cdot t_i}{T_{\text{ц}}} = \frac{0,5 \cdot 6,27 + 0,94 \cdot 6,1 + 0,83 \cdot 3,69 + 0,28 \cdot 3,5 + 0,83 \cdot 3,67}{20,4} = 0,69$$

где  $T_{\text{ц}}$  – продолжительность цикла;  $t_i$  – продолжительность  $i$ -й технологической операции, с.

Определяем коэффициент средней фактической частоты вращения коленчатого вала[18]

$$K_{об} = \left( \frac{n}{n_N} \right)^2 - 1,55 \frac{n}{n_N} + 1,55 \quad (6.4)$$

где  $n$  – фактическая частота вращения двигателя, об/мин;

$n_N$  – номинальная частота вращения двигателя, об/мин.

Т.к. в учебных целях было принято, что ДВС работал на номинальном режиме, то и соответственно фактическая частота вращения составляет 1700 об/мин.

$$K_{об} = \left( \frac{1700}{1700} \right)^2 - 1,55 \cdot \frac{1700}{1700} + 1,55 = 1$$

Определяем коэффициент учитывающий расход топлива в зависимости от использования ДВС по мощности[18]

$$K_{тим} = 1,5 \cdot u^2 - 2,25 \cdot u + 1,75 \quad (6.5)$$

-на копание

$$K_{тим} = 1,50 \cdot 0,50^2 - 2,25 \cdot 0,50 + 1,75 = 1,38$$

-на подъем

$$K_{тим} = 1,50 \cdot 0,94^2 - 2,25 \cdot 0,94 + 1,75 = 1,04$$

-на поворот платформы

$$K_{тим} = 1,50 \cdot 0,83^2 - 2,25 \cdot 0,83 + 1,75 = 1,13$$

-на разгрузку

$$K_{тим} = 1,50 \cdot 0,28^2 - 2,25 \cdot 0,28 + 1,75 = 1,53$$

-на поворот платформы в забой

$$K_{тим} = 1,50 \cdot 0,83^2 - 2,25 \cdot 0,83 + 1,75 = 1,13$$

Определяем удельный эффективный расход топлива

$$g_e = g_e \cdot K_{тим} \cdot K_{об} \quad (6.6)$$

-на копание

$$g_e = 220 \cdot 1,38 \cdot 1,00 = 302,68 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$$

-на подъем

$$g_e = 220 \cdot 1,04 \cdot 1,00 = 229,19 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$$

-на поворот платформы

$$g_e = 220 \cdot 1,13 \cdot 1,00 = 247,50 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$$

-на разгрузку

$$g_e = 220 \cdot 1,53 \cdot 1,00 = 337,49 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$$

-на поворот платформы в забой

$$g_e = 220 \cdot 1,13 \cdot 1,00 = 247,50 \text{ г/кВт}\cdot\text{ч}$$

Т.к.  $K_{\text{тим}}$  уже учтен в формуле (6.6) то часовой расход топлива для различных технологических операций рабочего цикла определится по следующей формуле

Рассчитываем часовой расход топлива

-на копание

$$G_k = 1,03 \cdot 132 \cdot 302,68 \cdot 0,50 \cdot 0,90 = 18,51 \text{ кг/ч}$$

Аналогично были получены значения часового расхода топлива и на другие технологические операции и сведены в таблицу 6.1

Таблица 6.1

**Часовой расход топлива для различных технологических операций  
рабочего цикла ЭО-5126**

Наименование технологической операции рабочего цикла	Гч, кг/ч
Подъем РО	26,36
Поворот платформы с груженным ковшом	25,14
Разгрузка	11,56
Поворот платформы с порожним ковшом и возвращение в забой	25,14

Далее рассчитаем средний часовой расход топлива

$$G_{\text{ср}} = \frac{\sum_{i=1}^{T_{\text{ц}}} G_i \cdot t_i}{T_{\text{ц}}} = \frac{18,51 \cdot 6,27 + 26,36 \cdot 6,1 + 25,14 \cdot 3,69 + 11,56 \cdot 3,50 + 25,14 \cdot 3,67}{23,24} = 21,61 \text{ кг/ч}$$

## 6.2 Расчет удельного расхода топлива проводим согласно МДС 12-38.2007

Коэффициент использования по мощности экскаватора ЭО-5126 будет иметь значения согласно МДС 12-38.2007  $K_{\text{им}} = 0,5$  (для экскаваторов 3-4-й типоразмерных групп). Для тракторных дизелей коэффициент учитывающий изменение удельного расхода топлива в зависимости от коэффициента использования по мощности  $K_{\text{тим}} = 1,14$ ,  $K_{\text{ив}}$  примем исходя из опыта эксплуатации экскаваторов при строительстве объектов в Омской области – 0,90.

Определяем часовой расход топлива:

$$G_{\text{МДС}}^{\text{ч}} = 132 \cdot 220 \cdot 0,5 \cdot 1,03 \cdot 0,90 \cdot 1,14 = 15,34 \text{ кг/ч}$$

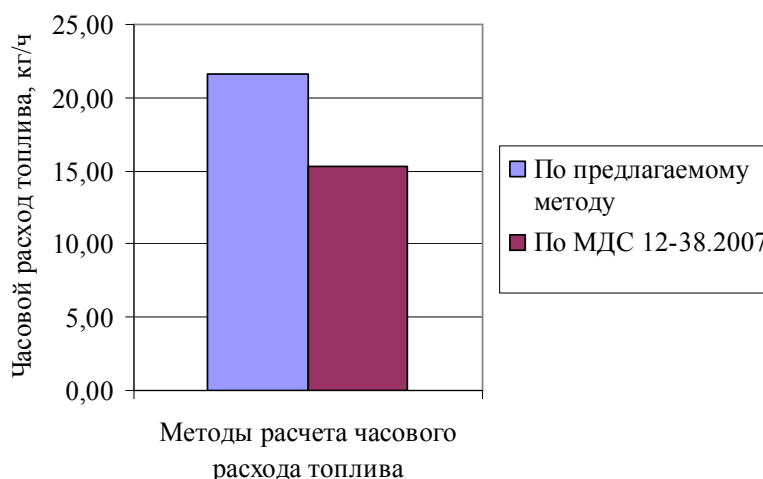
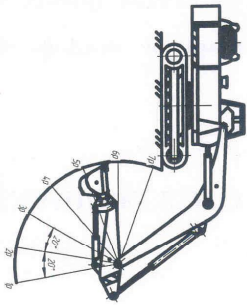
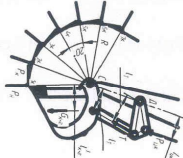


Рис. П.6.1. Величины расхода топлива с учетом предлагаемого метода и по МДС12-38.2007

Вывод: Исходя из проведенных расчетов, можно сделать вывод, что расчет с учетом корректировки более точен, на 29 %. Расход по нормативам, регламентированным МДС 12-38.2007 [17,18] получился заниженным, это связано с более высоким коэффициентом использования по мощности, полученным расчетным методом, корректировкой удельного расхода топлива. Тем самым альтернативная методика расчета расхода топлива, позволяет повысить точность учета ГСМ на предприятиях, эксплуатирующих строительную технику.

## Образец оформления графической части листа № 1

КП-005.01.00.000

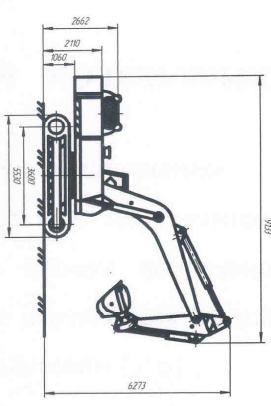


Рисунок 3 - Видеиш ПУ положеице 1

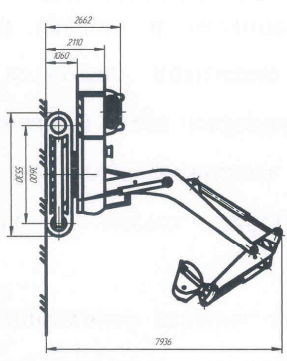


Рисунок 4 - Видеиш ПУ положеице 2

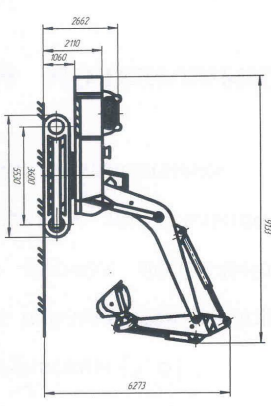


Рисунок 5 - Видеиш ПУ положеице 3

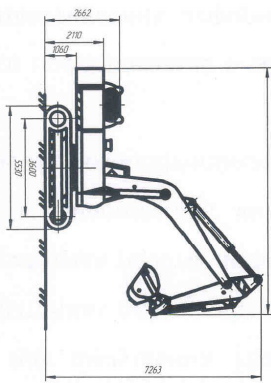


Рисунок 6 - Видеиш ПУ положеице 4

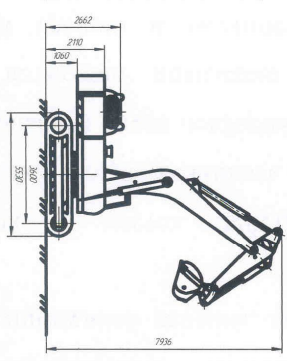


Рисунок 7 - Видеиш ПУ положеице 5

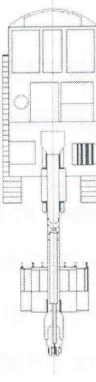


Рисунок 8 - Видеиш ПУ положеице 1

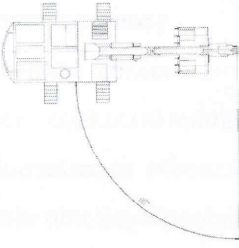


Рисунок 9 - Видеиш ПУ положеице 2

Грмические характеристики

Изолиция екскаватора	32 - 5106
Эксплуатационный вес в	
Базовый обдел и с гидравлической обделкой	193 / 10 / 125 / 142 / 15 / 18
Базовый	125
- с гидравлической обделкой	155
Наибольший радиус ковша и	4,2
Наибольший радиус ковша и	5,6
Наибольший радиус ковша и	5,9
Наибольший диаметр в гидравлической обделке	
- Двиг	4030
- Агрегат	2710
- Двиг	4000
- Агрегат	3000
- Двиг	2510
- Агрегат	
Длина	2110
И-формаици, Е-и-материалы, Диаметры	122 / 150
Мощность двигателя (кВт / л.с.)	
Мощность для гидравлики	

Исполнитель	Инженер
Проверенный	Инженер
Эксперт	Инженер
Утвержден	Инженер
Код	
Итого	

Проект экскаватора

часть 1

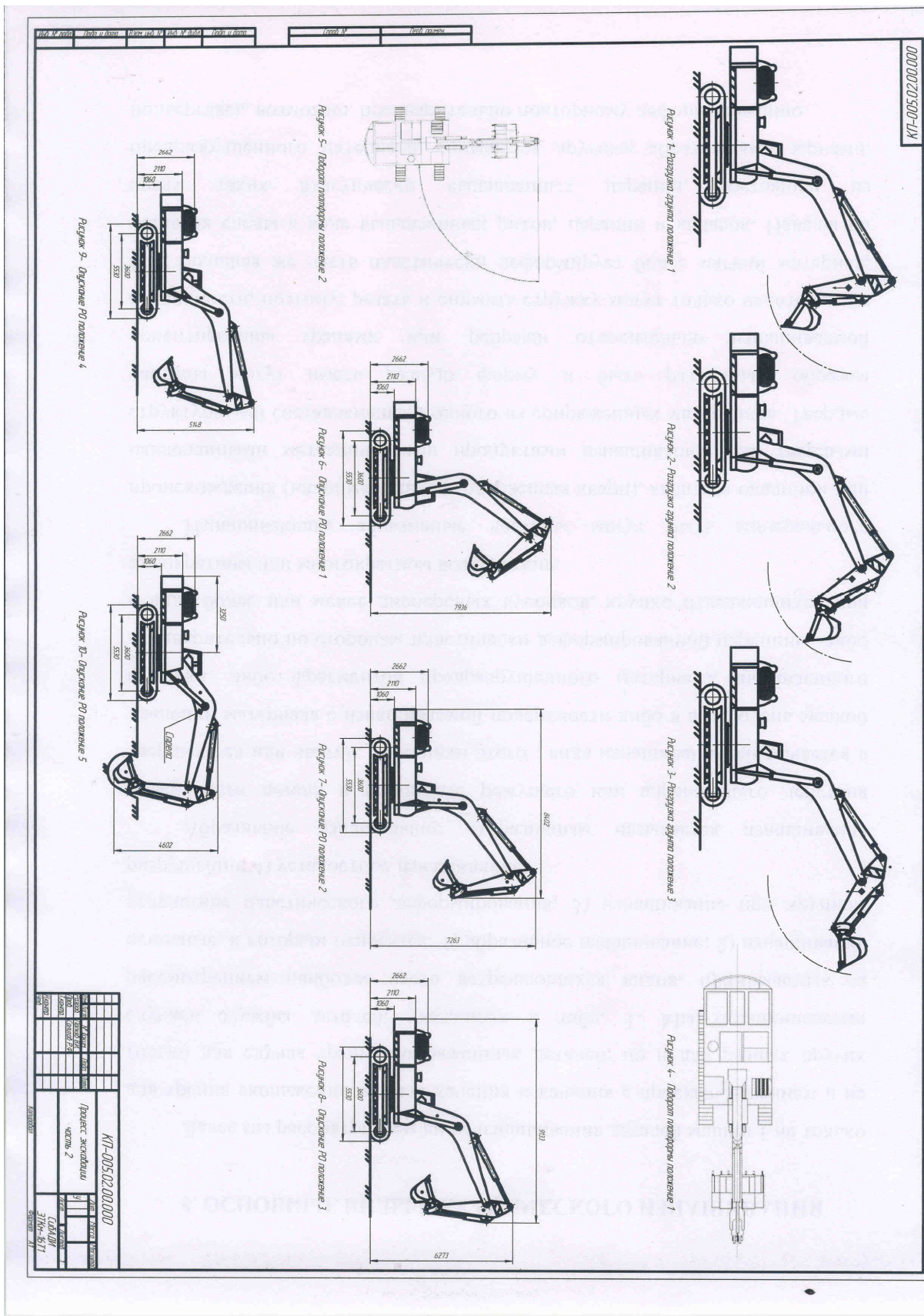
Лист 11

ЭИ-05-671

Серия 01

КП-005.01.00.000

Образец оформления графической части листа № 2



Образец оформления графической части листа № 3

