

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Южно-Уральский государственный
университет (национальный
исследовательский университет)»
Кафедра «Колёсные и гусеничные машины»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой
к.т.н., профессор
_____ В.Н. Бондарь
_____ 2020 г.

Разработка рабочего органа экскаватора ЭО-4224 для
планировочных работ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ ЮУрГУ
23.03.02.2020.041.00.00.000 ПЗ ВКР

Руководитель работы:
к.т.н., доцент
_____ Разношинская А.В.
«__» _____ 2020 г.

Автор работы
студент группы П-405
_____ Переверзев О.В.
«__» _____ 2020 г.

Нормоконтролер
к.т.н., доцент
_____ В.И. Дуюн
«__» _____ 2020 г.

АННОТАЦИЯ

Переверзев О.В. Разработка рабочего органа экскаватора ЭО-4224 для планировочных работ. – Челябинск: ЮУрГУ, П-405, 79 с., 32 ил., 10 табл., библиогр. список – 23 наим., 5 прил., 6,5 листов чертежей ф А1.

Цель выпускной квалификационной работы – увеличить производительность рабочего органа экскаватора ЭО-4244 путем его модернизации, предложить техническое решение по модернизации РО.

В работе представлен конструкционный анализ подобных модернизаций РО землеройных машин. Приведены достоинства и недостатки конструкций.

Дано обоснование ВКР. Произведен общий расчет экскаватора, оснащенного ковшом повышенной планировочной способности. Приведена разработка рабочего органа для планировочных работ. В технологической части проведена разработка технологического процесса изготовления детали вала.

Положительный эффект от данной модернизации состоит в расширении функционала землеройной машины, которое позволит производить планировочные работы.

В заключении дан вывод о целесообразности и эффективности проведенной работы по модернизации, а также приведены выводы по содержанию ВКР.

					23.03.02.041.00.00.000 ПЗ			
<i>Изм</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		Переверзев О.В.			Разработка рабочего органа экскаватора ЭО-4224 для планировочных работ	<i>Литера</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Проверил</i>		Разношинская А.В.					3	79
<i>Н. Контр.</i>		Дуюн В.И				ЮУрГУ Кафедра «КГМ»		
<i>Утвердил.</i>		Бондарь В.Н.						

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1 ОБОСНОВАНИЕ И ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ТЕМЫ	6
1.1 Общие сведения об экскаваторе-планировщике	6
1.2 Задачи, решение которых обеспечит развитие рабочих органов	17
1.3 Характеристика разрабатываемой среды.....	18
1.4 Сила резания сложными ножами и ковшами, и их взаимодействие с грунтом.....	19
1.5 Условия рациональности ковшей экскаватора.....	20
1.6 Принцип конструирования РО ковшового типа	21
1.7 Предварительный анализ и характеристика модернизированного узла	23
1.8 Цели и задачи	26
2 ОБЩИЙ РАСЧЕТ ЭКСКАВАТОРА, ОСНАЩЕННОГО КОВШОМ ПОВЫШЕННОЙ ПЛАНИРОВОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ	27
2.2 Определение касательных усилий на режущей кромке	32
2.3 Определение максимальных нагрузок, воспринимаемых модернизированным рабочим оборудованием - обратная лопата	38
3 РАЗРАБОТКА РАБОЧЕГО ОРГАНА ДЛЯ ПЛАНИРОВОЧНЫХ РАБОТ	42
3.1 Определение рациональных параметров рабочего органа экскаватора	43
3.2 Определение рациональных размеров отвальной поверхности	46
3.3. Расчет рыхлительного элемента планировочного ковша.....	53
3.4 Расчет на прочность элементов рабочего оборудования экскаватора, оснащенного ковшом повышенной планировочной способности.....	58
4 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВАЛА	64
4.1 Выбор заготовки.	64
4.2 Выбор схемы базирования.....	64
4.3 Разработка маршрутного процесса обработки вала.....	65
4.4 Разработка операционного технологического процесса	68
4.5 Расчет режимов резания.	71
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	76
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	77
ПРИЛОЖЕНИЯ	79

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		4

ВВЕДЕНИЕ

Основной целью капитального строительства является создание и обновление основных фондов, направленных на увеличения качества производства, решение социальных задач и повышения эффективности строительного комплекса.

Исходя из этого, особое внимание выделяется оснащению областей строительного комплекса передовой техникой и образованию на этой основе строительных машин и оборудования, значительно повышающих технический уровень строительства, позволяя резко сократить использование ручной работы и обеспечить комплексную механизацию всех стадий строительного процесса. Перечисленные действия способствуют к увеличению качества и снижению стоимости строительства.

В области машин для земельных работ лидирующие позиции занимают одноковшовые экскаваторы. Техничко-эксплуатационные показатели которых определяются типом привода, совершенством конструкции, уровнем сборки и техничеко-организационным качеством эксплуатации.

В данной работе рассматриваем возможный путь модернизации рабочего органа одноковшового экскаватора ЭО-4224. Мы предлагаем расширение функциональности рабочего органа экскаватора путем добавления возможности совершения планировочных работ. Для этого мною были определены рациональные параметры РО экскаватора, и разработана новая конструкции РО отвального типа, которая имеет криволинейную форму и способна производить планирование и разрыхление грунта. Данная модернизация позволяет повысить технологическую способность экскаватора.

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		5

1 ОБОСНОВАНИЕ И ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ТЕМЫ

1.1 Общие сведения об экскаваторе-планировщике

Экскаваторы – это основной тип землеройных погрузочно-разгрузочных машин. Но в процентном соотношении, экскаваторов-планировщиков (рисунок 1.1) из всего многообразия моделей не так уж и много[19]



Рисунок 1.1 – Экскаваторы-планировщики

Экскаваторы планировщики созданы, в основном, для планировки грунтовых откосов, на которых значительную долю в их протяженности занимает земляное полотно на насыпи или в выемке, в том числе даже в условиях равнинной местности, где высота насыпи значительно увеличивается на подходах к мостам и путепроводам (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Рабочий процесс экскаватора-планировщика

Планировщики - универсальны, они могут заменить целый парк машин, потому что при помощи навесного оборудования выполняют все нужные операции: копание грунта, погрузку грунта и других материалов в транспортные средства, рыхление грунта и кировку дорожных покрытий, снос строений, ремонт труб в любой отрасли (водоснабжение и теплоснабжение, нефтяная, газовая).

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		6

В дорожном строительстве такой экскаватор незаменим при планировке откосов, насыпей и разных выемок земляного полотна. Откосы встречаются по 12 метров, следовательно, автогрейдеру взять такую высоту не под силу. К тому же, откосы по всей длине ремонтируемой дороги бывают переменными. Даже при небольшой высоте у любой другой техники ничего не получится.

Также машина справится с планировочными работами на подходах к мостам и другим искусственным сооружениям. Кроме возможности рыть траншеи или котлованы, экскаватор-планировщик за короткий промежуток времени сможет осуществить загрузку или выгрузку сыпучих материалов, в том числе с открытых железнодорожных платформ.

Экскаватор-планировщик может работать в стесненных условиях. Весь комплекс земляных работ выполнит данная машина. Благодаря телескопической стреле (рисунок 1.3.) экскаватор работает на недоступных другой технике участках. Также он может дублировать функции автокрана. Практически на всех экскаваторах-планировщиках смена оборудования для выполнения той или иной части работы не занимает много времени. [19]



Рисунок 1.3 – Конструктивные особенности машины

Экскаватор-планировщик создан для решения непростых технических задач, таких как обваловка скважин буровых установок, строительство и аварийно-ремонтные работы на трубопроводах. Так же он эту машину используют при возведении и обслуживании инфраструктуры нефтеперерабатывающих предприятий, ликвидации аварийных ситуаций на объектах нефтедобычи.

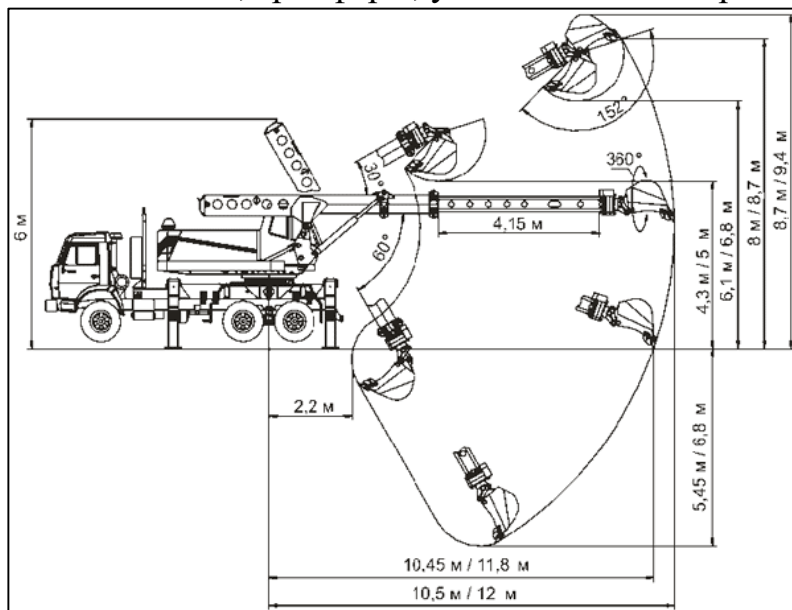
Экскаваторы-планировщики выпускаются на пневмоколесном и гусеничном ходу (рисунок 1.4).

Гусеничные машины (рисунок 1.5) применяются исключительно на строительстве выемок, каналов и планировке откосов земляного полотна.

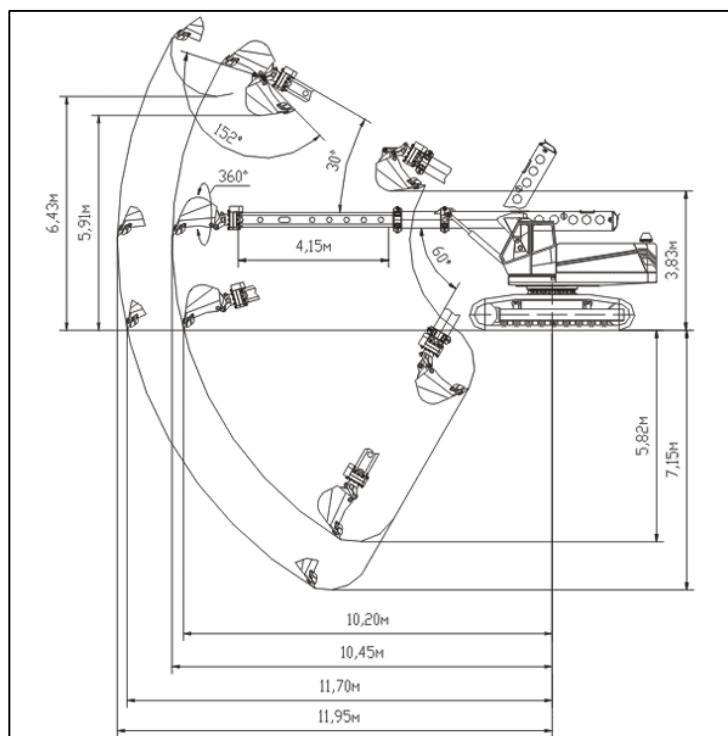
Экскаваторы-планировщики на пневмоколесном ходу нашли широкое применение на ремонте и содержании автомобильных дорог. Они незаменимы при подаче грунта на откос земляного полотна в местах образования промоин; снятии, замене и ремонте растительного слоя грунта на откосах, а также при устройстве на откосах водоотводных сооружений.

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

Помимо штатного рабочего оборудования экскаватора в номенклатуру опционально входят более 20 наименований (табл.1.1): ковши профильные, планировочные и дренажные, отвалы, клещи-захваты, резчики асфальтобетона, каток статический, виброплита, гидромолот, вилы с захватом, косилка-кусторез, бур, дробилка бетонных блоков, грейферы, удлинительные стрелы. [14]



А)




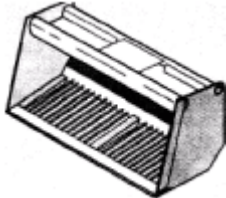


Б)

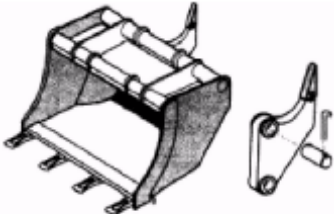
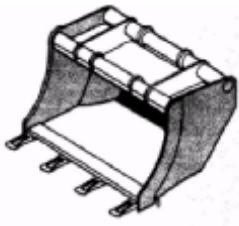
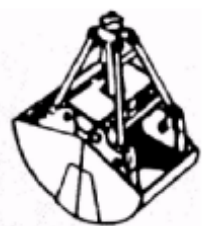
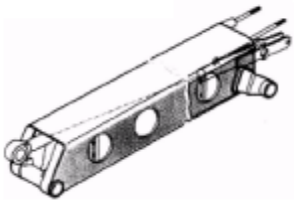
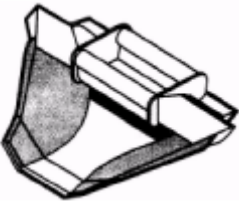
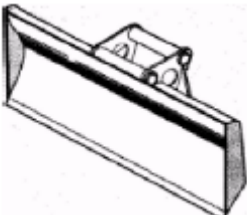
Рисунок 1.4 – Схемы работы экскаваторов: А - пневмоколесных, Б - гусеничных

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		8

Таблица 1.1 – Навесное оборудование экскаватора-планировщика

№	Название	Вид
1.	Гидравлический молот	
2.	Захват для камней массой до 1250 кг.	
3.	Гидравлическая косилка	
4.	Лопата для погрузки овощей	
5.	Ковш для вскрытия дорожного полотна, ширина 0.9 м, объем 0.63 м³.	

Продолжение таблицы 1.1

6.	Ковш с рыхлителем, объем 0.5 м ³ .	
7.	Основной ковш, объем 0.63 м ³ .	
8.	Грейфер, объем 0.5 м ³ .	
9.	Удлинители стрелы, длиной 1.5 и 3 м.	
10.	Профильный ковш для водоотводных каналов с углом 45 град.	
11.	Отвал, ширина 3м.	


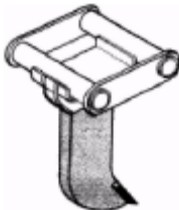
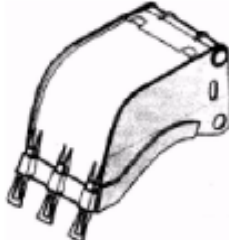
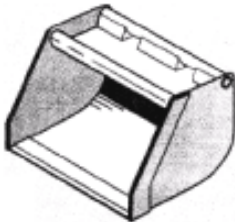
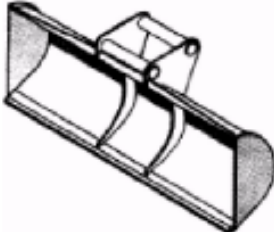
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.041.00.00.000

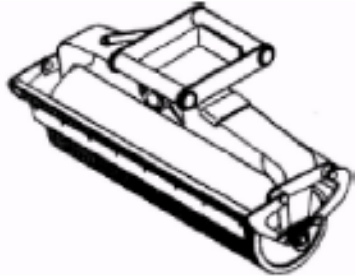
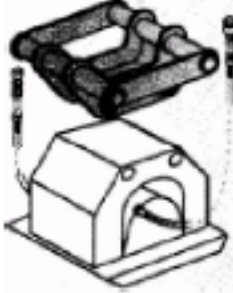
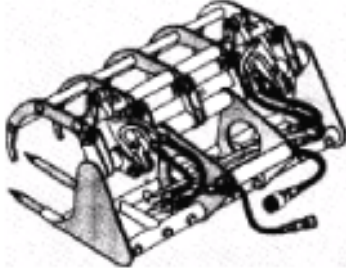
Лист

10

Продолжение таблицы 1.1

12.	Фреза, глубина шва до 190 мм.	
13.	Рыхлитель	
14.	Дренажные лопаты шириной 0.4, 0.5, 0.6 м. и объемом 0.21, 0.27, 0.34 м ³ .	
15.	Ковш без зубьев, объемом 0.63 м ³	
16.	Ковш планировочный, ширина 2.5 м., объемом 0.4 м ³ .	


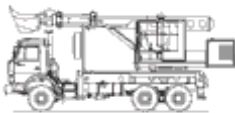

Продолжение таблицы 1.1

17.	Уплотнительный каток	
18.	Вибрационная платформа	
19.	Гидравлические вилы.	

Экскаваторы-планировщики производства стран СНГ.

ОАО "Мотовилихинские заводы" это один из крупных отечественных производителей экскаваторов-планировщиков. Завод выпускает телескопические экскаваторы с 1997 года. Сегодня заказчикам предлагаются три модели экскаваторов-планировщиков: ЭО-43212 (ЗТМ-220), ЭО-43213(ЗТМ-221), ЭО-43214 (ЗТМ-220.1). Базовые шасси: КамАЗ-53228, КамАЗ-43118 или Урал-4320 (табл.1.2). Эти машины имеют один объем ковша - 0,5 кубометра, одну максимальную высоту разгрузки - 5,7 метра, одну глубину копания от 5,7 до 5,8 метра. Значительное отличие экскаваторов пермского завода от их аналогов в том, что механизм ротации стрелы находится в центре неподвижной ее части и поворот рабочего органа происходит вместе со всей подвижной стрелой. [14]

Таблица 1.2 – Экскаваторы-планировщики (параметры)

Изображение автомобиля			
Модель	EW-25M1.100	6986 (UDS-114a)	ЭО-43212
Базовое шасси	КАМАЗ-53228	КАМАЗ-53228	КАМАЗ-53228
Объем ковша, м ³	0,63	0,6	0,5
Глубина копания, м	5,45	6,5	5,8
Радиус копания, м	10	10,5	9
Длина, м	9300	9040	8400
Ширина, м	2500	2500	2500
Высота, м	3800	3990	3800
Масса, кг	22830	21100	19500

Дополнительное навесное оборудование может прилагаться к экскаваторам-планировщикам. Такое оборудование как: ковш с зубьями шириной 0,9 метра; ковш планировочный шириной 1,1 метра; отвал длиной 2 метра и высотой 0,9 метра.

Одним из известнейших производителей экскаваторов в России является ОАО "Тверской экскаваторный завод", который выпускает экскаватор-планировщик ЕА-17 на шасси "Урала". Объем ковша составляет 0,65 кубометра, высота разгрузки - 4,4 метра, глубина копания - 4 метра. Экскаватор выпускается с двигателем Д-243. Основное отличие в конструкции рабочего органа ЕА-17 от иных моделей экскаваторов - это четырехзвенный механизм складывания рукояти. Эта особенность конструкции была разработана для уменьшения габаритов машины, а также для улучшения обзора оператора при перемещении экскаватора в не рабочем состоянии (ковш ложится на кабину).

Также производством этих машин занимается является ФГУП ПО "Уралвагонзавод". Это предприятие, расположенное в Нижнем Тагиле, выпускает мобильные многофункциональные экскаваторы-планировщики ЕТ-1. Экскаватор прекрасно справляется с землеройными работами, прокладкой коммуникаций, прокладкой и обработкой сводов туннелей. ЕТ-1 состоит из силовой и ходовой частей серийного экскаватора ЭО-33211 и телескопической стрелы со сменным рабочим оборудованием. При высоте разгрузки 6,5 метра планировщик может копать траншеи глубиной 5,9 метра.

ОАО "ВЭКС" (Воронеж) производит полноповоротные гидравлические экскаваторы на гусеничном и пневмоколесном ходу. Планировщик ВЭКС-0К 4-ой размерной группы наиболее эффективно используется на рассредоточенных объектах в условиях городского, сельского, промышленного и транспортного строительства. Он способен разрабатывать грунты с первой по четвертую категорию. Ковш экскаватора модели ВЭКС-20К достаточно вместительный - 1,05 кубометра, максимальная высота разгрузки - 6,5 метра, а глубина копания - 5,2 метра.

Предприятие ООО "ТАС-Спецмаш", в Набережных Челнах, было создано для разработки универсального экскаватора-планировщика с телескопической стрелой и полноповоротным ковшом ЭО-3533К "Батыр". Полный поворот ковша на конце телескопической стрелы (ротация 360 градусов) позволяет проводить различные виды работ как прямой, так и обратной лопатой. По заказу машина комплектуется различными видами сменных рабочих органов. Основные параметры при работе: наибольшая высота выгрузки - 5,1 метра, радиус копания - 8,7 метра, максимальная глубина копания - не менее 4,9 метра. Тип шасси - КамАЗ-53228.

Челябинский завод "Ремстройдормаш" начал производить экскаваторы-планировщики откосов, которые являются аналогом чехословацкого UDC-214.

Экскаваторы-планировщики с телескопической стрелой и полноповоротным ковшом поставляет машиностроительное предприятие ООО СП "Святовит", в настоящее время является одним из наиболее динамично развивающихся белорусских машиностроительных предприятий. Сегодня доля рынка компании в странах СНГ по производству и продаже универсальных экскаваторов-планировщиков составляет более 30%.

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		14

Данное предприятие проектирует и производит следующие модели: EW-25-T1 "Святовит", модель EW-25-M1 "Святовит" трех модификаций, EW-25- M1 "АНТЕЙ" четырех модификаций. Используемые шасси: МЗКТ, МАЗ, КамАЗ, Урал. Спецшасси МЗКТ отличается от других автомобильных шасси наличием собственной усиленной рамы, обычно устанавливаемой на автомобильной платформе. Экскаваторы "СВЯТОВИТ" и "АНТЕЙ" - аналоги словацких экскаваторов UDS-114 и UDS-214 на базе шасси ТАТРА, только стоят гораздо дешевле. Замена одного оборудования другим происходит в считанные минуты, на шасси предусмотрено специальное место для транспортировки к месту работ планировочной доски. Размеры стрелы позволяют выполнять работы в радиусе 10,5 метра вокруг шасси, копать котлованы и траншеи глубиной до 6,9 метра, укладывать извлеченный грунт на высоту 6,1 метра.

Экскаватор-планировщик "АНТЕЙ" отличается следующими конструкторскими решениями. Гидросистема: применяются оцинкованные трубы; фитинги, гидроарматура, РВД, трубы производства Финляндии, Германии, Великобритании; применено соединение трубопроводов врезными кольцами, что гарантирует герметичность; используются уплотнители и другие РТИ производства Италии, Германии; гидроцилиндры производства Hydronika Dee (Словакия). Модернизирован механизм ротации: модернизирована поворотная головка; при изготовлении быстроизнашивающихся деталей использован антифрикционный механизм. Прочие механизмы: подвижная стрела прочна за счет применения несущих труб из высококачественной стали повышенной прочности; облегчен доступ к обслуживанию ряда основных узлов; возможность установки защитного козырька над лобовым стеклом кабины шасси; в металлоконструкциях установки применены особо прочные низколегированные стали.

Следующий производитель незаменимых машин - украинская фирма "АТЕК" (бывший киевский завод "Красный экскаватор"). "АТЕК" выпускает экскаваторы-планировщики АТЕК-011А и АТЕК-012А на базе шасси КраЗ-65101. Данное шасси имеет большую грузоподъемность, широкие односкатные шины, а также разрешенный дорожными правилами габарит по ширине в 2,75 метра. Объем ковша АТЕК-011А равен 0,75 кубометра, максимальная высота погрузки - 6,3 метра, глубина копания - 4,8 метра. АТЕК-012А при объеме ковша 0,55 кубометра достигает максимальной высоты разгрузки 5,52 метра и глубины копания 4, 47 метра.

Белорусское ОАО "Кохановский экскаваторный завод" производит экскаваторы-планировщики ЭО-3533, ЭО-3533У, ЭО-3533УА, 3540, 3532А. Между собой они отличаются некоторыми техническими характеристиками и шасси (КамАЗ, МАЗ, Урал). В целом машины обладают большой скоростью передвижения, высокой маневренностью и проходимостью, что делает их универсальными для производства земляных работ. Телескопическая стрела позволяет проводить разработку грунта в труднодоступных местах. В наличии имеются сменные рабочие органы различного назначения (5 видов), которые обеспечивают широкое применение экскаватора.

Дальнее зарубежье

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15

Европейским производителем экскаваторов-планировщиков является чехословацкая фирма "CSM Tisovec a.s.". О качестве машин можно судить по совместным проектам с известными мировыми производителями строительной техники Западной Европы и США.

"CSM Tisovec a.s." производит следующие модели экскаваторов-планировщиков: DH- 214, DH -21421, UDS-114R, UDS-214 (две модели:11 и 22), UDS-232. Практически все машины установлены на шасси ТАТРА с хребтовой рамой. У этих шасси есть независимая торсионная подвеска переднего моста и независимая рессорно-балансирная подвеска заднего моста. UDS-214.11, в отличие от UDS-214.22, имеет микродвижение. Отличительной особенностью модели UDS-214.11 является еще и наличие пневмосистемы, обеспечивающей возможности управления ходом шасси и аутригерами из кабины оператора. У каждой модели - набор дополнительного рабочего оборудования: клещи-захваты, резчики асфальтобетона, каток статический, виброплита, гидромолот, вилы с захватом, косилка-кусторез, бур и дробилка бетонных блоков и т.д. Экскаваторы DH- 214, UDS-214 и UDS-232 оснащены гидравлическим оборудованием немецкой фирмы Rexroth.

"CSM Tisovec a.s." совместно с ОАО "РИАТ" (Набережные Челны, Россия) выпускает универсальный полноповоротный экскаватор-планировщик UDS-134 РИАТ. Экскаватор базируется на шасси КамАЗ. Применение шасси с тремя ведущими мостами позволяет использовать технику на любых строительных объектах. Гидравлическая система планировщика состоит из трех главных каналов и дополняющих каналов для создания давления в сервосистеме. Дополнительное оборудование представлено 23 типами навесных устройств.

Фирма Gradall (США) производит и поставляет 8 моделей экскаваторов-планировщиков: 5 пневмоколёсных, из которых две модели (XL-2300 и XL-3300) имеют аутригеры для обеспечения устойчивости, и у трех моделей (XL-3100, XL4100 и XL- 5100) устойчивость платформы во время работы обеспечивается без аутригеров; 4 модели на гусеничном ходу.

Основная конструктивная особенность экскаваторов-планировщиков этой фирмы состоит в том, что ковш не вращается вокруг продольной оси стрелы, стрела сама поворачивается вокруг своей горизонтальной оси на угол 110-120 градусов в обе стороны. Привод вращения - от гидромотора, который установлен на противоположном от ковша конце стрелы, в то время как в моделях с полноповоротным ковшом гидромотор расположен в месте крепления ковша. Так что гидромотор находится в комфортных условиях, поскольку изолирован от контакта с разрабатываемым грунтом. Ходовая часть колесного экскаватора представляет собой самоходное шасси с двумя или одним ведущим мостом. Применяемые бескамерные шины с наполнителем продлевают срок службы колеса до 10 лет.

На всех моделях установлена система "Микроход", которая обеспечивает управление ходом машины из кабины машиниста-оператора. Узкая кабина оператора обеспечивает хороший обзор рабочей зоны.

В состав дополнительного оборудования входят: ковши - траншейный, экскаваторный с зубьями, зачистной, землечерпательный, грейдерный отвал,

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		16

кирковщик, удлинитель стрелы от 1,2 до 3,6 метра, стрела Telestick с увеличением радиуса копания до 15 метров (кроме моделей XL 2300 и XL 3100), пневмо- и гидромолотки, бур и т.д.

Еще одной американской фирмой изготавливающей экскаваторы-планировщики является фирма Badger. Она производит такие модели планировщиков, как Badger 670 и Badger 460. Американский производитель признает, что машины сегодня должны работать в труднодоступных местах. Поэтому для использования на бездорожье Badger предлагает линию экскаваторов с резиновыми шинами и приложениями. Эффективное использование техники так же достигается за счет обеспечения операторов надежным и удобным контролем машины.

1.2 Задачи, решение которых обеспечит развитие рабочих органов экскаватора

Проведенные исследования модернизаций землеройных машин выявил основные направления в развитии рабочих органов:

- увеличение габаритных размеров машин, что приводит к возрастанию их мощности;
- разделение на функциональные элементы и узлы в соответствии с особенностями процессов взаимодействия с грунтом;
- применение устройств, увеличивающих скорость копания и перемещение грунта;
- применение устройств, обеспечивающих оптимизацию параметров в процессе работы в зависимости от выполняемых операций; применение новых физических методов разрушения грунтов.

Общие тенденции развития конструкции экскаватора связаны с совершенствованием конструкции базовых машин экскаватора и РО. Наиболее важными из них являются:

- расширение типоразмерного ряда в направлении создания малогабаритных и тяжёлых машин;
- повышение удельной мощности при сравнительно небольшом увеличении массы;
- применение более прочных материалов, введение смазки, защитных устройств;
- снижение трудоёмкости технического обслуживания;
- улучшение условий труда за счёт снижения трудоёмкости управления машиной, уменьшение шума, вибраций, загазованности, запылённости;
- повышения безопасности работы оператора, благодаря внедрению защиты;
- создание тяжёлых экскаваторов на базе спаренных платформ;
- использование автоматических (дистанционных) систем управления РО;
- расширение области применения экскаватора путём использования сменного РО.

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		17

1.3 Характеристика разрабатываемой среды

Согласно ГОСТ 12536-2014 Грунты. [1] существует несколько видов разрабатываемых наземных поверхностей.

Грунтами называются горные породы, из которых состоят верхние слои земной коры. Обычно это верхний слой глубиной до 10 м. Встречаются разнообразные грунтовые условия как по гранулометрическому составу (пески) глины, супеси, так и по влажности, плотности и температуре (талые или мерзлые).

В зависимости от трудности разработки грунты разделены на 8 категорий в соответствии с данными [1]. Как известно, классификация по ударнику ДорНИИ адекватно отражает сопротивляемость грунта механизированной разработке. Основные характеристики грунтов представлены в табл. 1.3.

Таблица 1.3 – Основные характеристики грунтов

Параметры	Тип грунта				
	Песчаный	Супесчаный	Суглинистый	Тяжелый суглинок, глина	Средний грунт
Вероятность появления	0,21	0,11	0,38	0,26	-
Сцепление, МПа	0,0001	0,01	0,03	0,06	0,03
Число ударов (С)	1	6	12	16	12...13
Угол внутреннего трения, φ , град	29	27	25	23	26
Угол внешнего трения, ρ , град	18	25	21	22	21
Объемная масса, γ , т/м ³	18	2,0	2,1	2,1	2,0

1.4 Сила резания сложными ножами и ковшами, и их взаимодействие с грунтом

Согласно [11], для расчета силы резания сложным ножом необходимо принимать во внимание взаимодействие составляющих ножей, проявляющееся в совмещении зон разрушения грунта каждым из них в отдельности. Соответствующим образом уменьшается суммарное сопротивление грунта. Поэтому сила резания сложным ножом обычно меньше суммы сил резания составляющими простыми ножами при их независимой работе. Независимыми названы зубья, у которых зоны разрушения грунта не совмещаются. Зубья работают независимо, если расстояния между ними:

$$a_3 \geq 2h_3 k_{бок} ctg\gamma, \quad (1.2)$$

Сила резания рядом независимых зубьев равна сумме сил резания каждым из них в отдельности. При одинаковых для всех зубьев размерах среза сила резания рядом зубьев:

$$P = nP_3, \quad (1.3)$$

где n - число зубьев в ряду,

P_3 - сила резания одним зубом.

Резание взаимодействующими зубьями.

При заглублении зубьев на столько, что отношение a_3/h_3 становится меньше $2k_{бок} ctg\gamma$, области разрушения грунта каждым из зубьев частично совмещаются. Сила резания каждым из них уменьшается пропорционально площади совмещающихся частей сечения прорези. Сила резания каждым зубом внутри ряда равна:

$$P_3^{6H} = P_3 - 2m_{бок} h_3^2, \quad (1.4)$$

где P_3 – сила резания зубом при независимой работе,

h_3 – высота сечения прорези в начале зоны совмещения:

$$h_3 = h - \frac{a_3 tg\gamma}{2k_{бок}}, \quad (1.5)$$

А у крайних зубьев прорезь совмещается только с одной стороны, поэтому сила резания для них будет равна:

$$P_3^{кр} = P_3 - m_{бок} h_3^2, \quad (1.6)$$

Таким образом, уменьшение сила резания для зубьев внутри ряда составляет $2m_{бок} h_3^2$, а для зубьев крайних в ряду: $m_{бок} h_3^2$.

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		19

Сила резания всем рядом зубьев примет вид:

$$P = nP_3 - 2(n-1)m_{бок}h_3^2, \quad (1.7)$$

Резание взаимодействующими зубьями в траншее с плоским дном.

В этом случае (рисунок 3,б) внешними ребрами крайних зубьев необходимо преодолевать сопротивления боковому срезу по всей глубине резания. Поэтому сила бокового среза с внешней стороны крайнего зуба достигает величины:

$$P_{бок.ср} = m_{бок.ср}h_3 \frac{1}{1-k_{бок}} \quad (1.8)$$

По сравнению с силой бокового среза при обычном блокированном резании увеличение равно $m_{бок.ср}h_3 \frac{k_{бок}}{1-k_{бок}}$

Суммарная сила резания всеми зубьями:

$$P = nP_3 - 2m_{бок} [(n-1)h_{3.1}^2 + h_3^2] + 2m_{бок.ср}h_3 \frac{k_{бок}}{1-k_{бок}} \quad (1.9)$$

1.5 Условия рациональности ковшей экскаватора

При достаточной прочности, надежности и технологичности ковшей основными условиями их рациональности следует считать малую энергоемкость резания грунта, ограничение размеров отделяемых кусков, равномерность рабочего режима, достаточное заполнение ковша при быстрой и полной разгрузке.

В конкретном случае рабочего процесса экскаватора преимущественными могут быть одно или часть названных условий, хотя в другом случае они могут быть второстепенными. Поэтому оценивать конструкцию ковшей следует по совокупности условий рациональности, но выделяя преимущественные для области использования экскаватора. Следует с осторожностью относиться к рекомендациям конструкций «рациональных вообще» без обоснования и указания преимущественной области применения. Среди рекомендованных и примененных конструкций имеются самые разнообразные

«Фирмы Оренштейн-Коппель унд Любекер Maschinenbau Aktiengesellschaft» и «Крупп Maschinen унд Штальбау» применили на экскаваторе ковши с трапецидальной и ортогональной к преобладающим траекториям кромкой козырька и режущей частью в виде двух полигональных ножей в угловых сопряжениях боковых ветвей и средней части козырька. Поперечное сечение внутренней части ковша трапецидальное.

На экскаваторах эксплуатировались ковши с различной режущей частью, в том числе такие, у которых она состоит из двух боковых зубьев и двух рыхлящих узких зубьев, расположенных на средней части козырька. Кромка козырька трапецидальная и ортогональная по отношению к преобладающим траекториям; поперечное сечение внутренней части ковша трапецидальное.

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		20

Фирма «Лаухгаммер» установила на экскаваторе ковшы с трапецеидальным козырьком, оснащенный шестью одинаковыми зубьями (двумя угловыми и четырьмя боковыми). Кромка козырька ортогональная по отношению к преобладающим траекториям; поперечное сечение ковша трапецеидальное.

Эта же фирма применяет ковшы с трапецеидальной кромкой козырька и четырьмя сужеными зубьями (двумя угловыми и двумя средними). Кромка козырька ортогональная по отношению к преобладающим траекториям, поперечное сечение ковша трапецеидальное.

1.6 Принцип конструирования РО ковшового типа

Придавая элементам рабочих органов экскавационных машин различные геометрические формы и размеры, можно получить у них одинаковую емкость; работая на одинаковых по свойствам грунтах, они будут давать различные величины усилий резания или усилий, соответствующих концу заполнения ковша. Естественно, что практическое значение имеет установление такого сочетания всех влияющих факторов, при котором достигаются минимальные усилия резания и усилия при заполнении ковшей.

Принцип конструирования основных элементов рабочих органов землеройных машин заключается в достижении ими большей производительности при минимальной удельной энергоемкости. Основным типом рабочих органов являются ковшы различных размеров и конфигураций, осуществляющие разработку грунтов по принципу лобового резания.

Принцип конструирования основных элементов рабочих органов относится ко всем видам экскавационных машин (ковшам механических лопат, стругов, обратных лопат, прицепных скреперов, экскаваторов и т. п.) независимо от емкости или формы рабочего органа.[19]

Технические условия проектирования ковшей рациональной формы заключаются в следующем:

- ковшы должны быть двух типов: а) емкостью, обеспечивающей работу в тяжелых грунтах IV категории, и б) увеличенной емкостью (до 70%) для работы в грунтах I, II в частично III категории, без увеличения мощности двигателя.

- при одинаковой площади поперечного сечения стружки, т. е. при $P = \text{const}$, усилие чистого резания уменьшается с увеличением длины горизонтальной режущей кромки; при соответствующем уменьшении глубины резания. Удельное сопротивление резанию резко уменьшится с увеличением l до 60-80 см, а затем при $l > 80$ см это уменьшение будет незначительно. В связи с этим в первую очередь следует на 25-35% увеличить ширину ковшей малых емкостей (до 0,75 м³).

Для ковшей с длиной режущей кромки $l > 1$ м увеличение их ширины с учетом удобства разгрузки можно допускать на 15%.

- боковые стенки ковшей оказывают при резании большое сопротивление, вследствие чего их следует конструктивно исключать из процесса резания путем установки на горизонтальном профиле двух крайних зубьев, перекрывающих эти стенки снаружи на 1-2 см.

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		21

Усилие резания возрастает с увеличением толщины боковых стенок, поэтому стенки необходимо выполнять по возможности тонкими и из высококачественной стали. Угол заострения лезвий боковых стенок должен быть односторонним, равным 45° , со скосом, направленным наружу ковша. Такой скос исключает боковое сжатие стружки и улучшает заполнение ковша. Кроме того, боковые стенки ковшей должны быть фасонной формы, так чтобы их угол резания (по вертикали) в пределах толщины снимаемой стружки составлял 35° , и только начиная от этого размера (по высоте ковша) стенки могут иметь больший угол подъема.

- ковши должны иметь зубья с правильным расположением, что почти исключает работу боковых стенок, снижает сопротивление резания на 20-30% и позволяет разрабатывать более крепкие грунты. Зубья должны иметь угол при вершине $\beta - 25^\circ$ и задний угол резания $\gamma = 5 - 10^\circ$

Ширина зубьев в зависимости от емкости ковша должна быть 6-8 см (не более 10см), что обеспечивает необходимую их прочность в сочетании с хорошей технологией резания. Длина зуба L , должна быть равна 15-20 см для стружек толщиной $h = 10-20$ см.

Из соображений прочности ширина зуба может быть несколько увеличена.

- оптимальное расстояние между зубьями должно быть в 2-3 раза больше ширины зуба. Такое расстояние соответствует минимальному усилию резания и полностью исключает забивание грунтом промежутка между зубьями даже при разработке налипающих грунтов.

- кончики зубьев должны быть всегда по возможности острыми, и это важное положение должно отмечаться в соответствующих инструкциях и достигаться за счет высококачественной наплавки.

- хвостовые элементы зубьев со стороны рабочей поверхности режущей кромки должны иметь минимальную толщину без ущерба для прочности зуба и надежности его крепления.

- применение съемных так называемых «подрезающих» зубьев на боковых стенках ковша должно быть исключено, так как они увеличивают усилия резания за счет уширения боковых стенок ковша.

Подрезающие зубья целесообразно ставить только на ковшах скреперов, полностью заглубляющихся в грунт, например при копке силосных ям и в других аналогичных случаях.

- угол заострения горизонтальной режущей кромки должен быть асимметричным, со скосом в наружную сторону (в сторону забоя); угол скоса β , должен обеспечивать требуемую величину угла γ .

- для улучшения планировки при передвижении экскаватора все лезвия зубьев ковшей механических лопат должны быть расположены на одной прямой, а средние зубья ковшей драглайнов должны выступать вперед, что будет способствовать лучшему заполнению ковшей.

- режущие горизонтальные кромки ковшей большегрузных скреперов всегда (исключая работу в рыхлых, насыпных грунтах) должны снабжаться зубьями или ступенчато расположенными средними ножами.

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		22

- ковши не должны иметь суженной горловины. Такая горловина вызывает сильное прессование стружки с боков и ведет к непроизводительной затрате энергии и плохому заполнению ковша.

- задняя стенка ковшей драглайнов, прицепных скреперов, стругов и экскаваторов должна иметь параболическую форму по типу ножей бульдозеров. Такая форма хорошо обеспечивает свободное загибание стружки пластичных грунтов вверх и способствует хорошему заполнению ковша у задней стенки.

- дужки ковшей драглайнов, экскаваторов и стругов должны быть расположены по возможности выше, чтобы исключить прессование грунта и повысить коэффициент заполнения[12].

Многие из перечисленных пунктов в случае их выполнения при проектировании и изготовлении ковшей рациональной формы помогают снизить усилие резания, которое количественно различно в зависимости от значимости того или иного конструктивного фактора.

Соблюдение всех перечисленных условий позволяет для ковшей рациональной формы значительно снизить усилия резания по сравнению с ковшами экскаваторов той же емкости, ранее выпускавшимися промышленностью.

В связи с этим на существующих экскаваторах могут быть установлены ковши рациональной формы увеличенной емкости, что даст существенное увеличение производительности экскаваторов. Кроме того, можно создать новые экскаваторы с меньшей удельной мощностью двигателя на 1м³ емкости ковша. В обоих случаях полученная экономия будет иметь существенное народнохозяйственное значение.

1.7 Предварительный анализ и характеристика модернизированного узла

При проектировании рабочего оборудования на базе строительного гидравлического экскаватора 4-й размерной группы, будем руководствоваться тем фактом, что основные узлы: ходовая часть, силовая установка, поворотная платформа, стрела, рукоять, элементы управления стрелой и рукоятью должны быть похожи на элементы модернизированного экскаватора. (рисунок. 1.6).

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		23

Таблица 1.4 – Параметры механизмов привода рабочего оборудования

№	Параметр	Условное обозначение	Единица	Механизмы привода		
				стрелы	руко яти	ковша
1	Длина радиуса коромысла	ρ	м	2,02	0,88	1,1
2	Углы отклонения радиуса коромысла от оси неподвижного звена в крайних положениях штока	φ_n	град	35,93	17,53	37,07
3	Полный угол поворота ведомого звена	φ_o	град	87,57	130	109
4	Длина неподвижного звена	ℓ	м	0,81	2,87	2,76
5	Углы давления	γ_n γ_k	град	70,6-74,6	65 65	35,54 65
6	Угол установки неподвижного звена	β	град	42,11	17,47	10
7	Угол отклонения радиуса коромысла от оси ведомого звена	λ	град	31,82	10	23,512
8	Характеристика гидроцилиндра:					
	диаметр поршня	D	мм	90	90	125
	диаметр штока	d	мм	50	50	65
	ход поршня	S	мм	1120	1600	1600
	наименьшая длина	S_n	мм	1440	2050	2,05
	наибольшая длина	S_k	мм	2560	3650	3,65
9	Длина стрелы, рукояти и радиус ковша	ℓ_c, ℓ_p, R	мм	6300	3400	1330

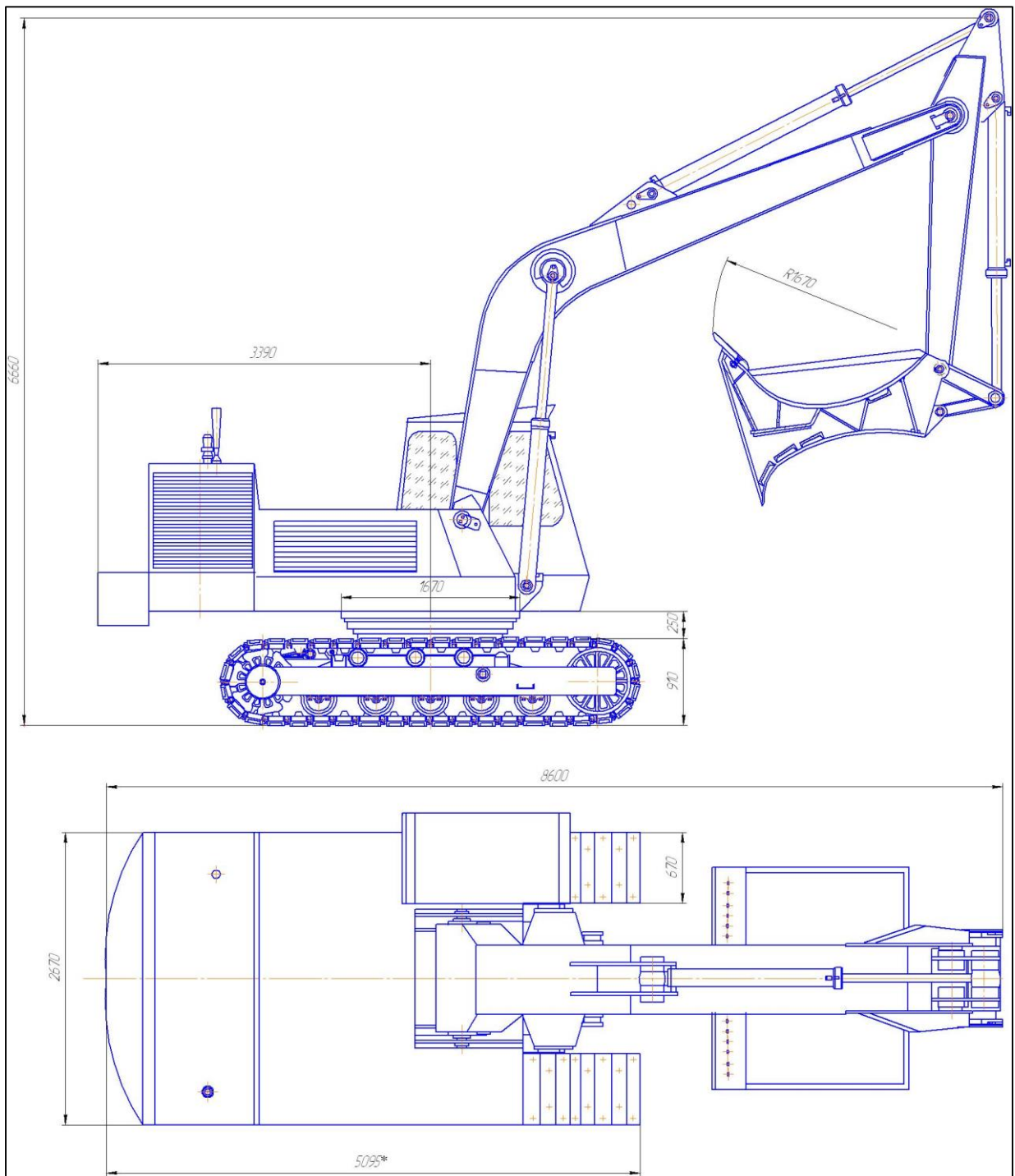


Рисунок. 1.6 – Общий вид модернизированного экскаватора

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		25

1.8 Цели и задачи

Целью работы является определение рациональных параметров РО экскаватора, и разработка новой конструкции РО отвального типа, которая имеет криволинейную форму и способна производить планирование и разрыхление грунта. Данная модернизация позволяет повысить технологическую способность экскаватора.

Задачи, которые необходимо решить для достижения данной цели:

- просмотреть научные труды, которые были сделаны в этой области;
- изучение среды взаимодействия;
- произвести анализ существующих конструкций;
- определения влияния параметров ковша на процесс разработки грунта;

- Разработка новой конструкции (геометрии) ковша;
- обоснование изменённой геометрии ковша.

Вывод по первому разделу: на основании анализа навесного оборудования землеройных машин были сформированы цели и поставлены задачи выпускной квалификационной работы.

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		26

2 ОБЩИЙ РАСЧЕТ ЭКСКАВАТОРА, ОСНАЩЕННОГО КОВШОМ ПОВЫШЕННОЙ ПЛАНИРОВОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ

При проектировании рабочего оборудования на базе строительного гидравлического экскаватора 4-й размерной группы, будем пользоваться тем фактом, что основные узлы: ходовая часть, силовая установка, поворотная платформа, стрела, рукоять, элементы управления стрелой и рукоятью должны быть очень близкими к прототипу.

Наиболее распространенным в строительстве одноковшовым экскаватором является экскаватор ЭО-4224 (рисунок 2.1).

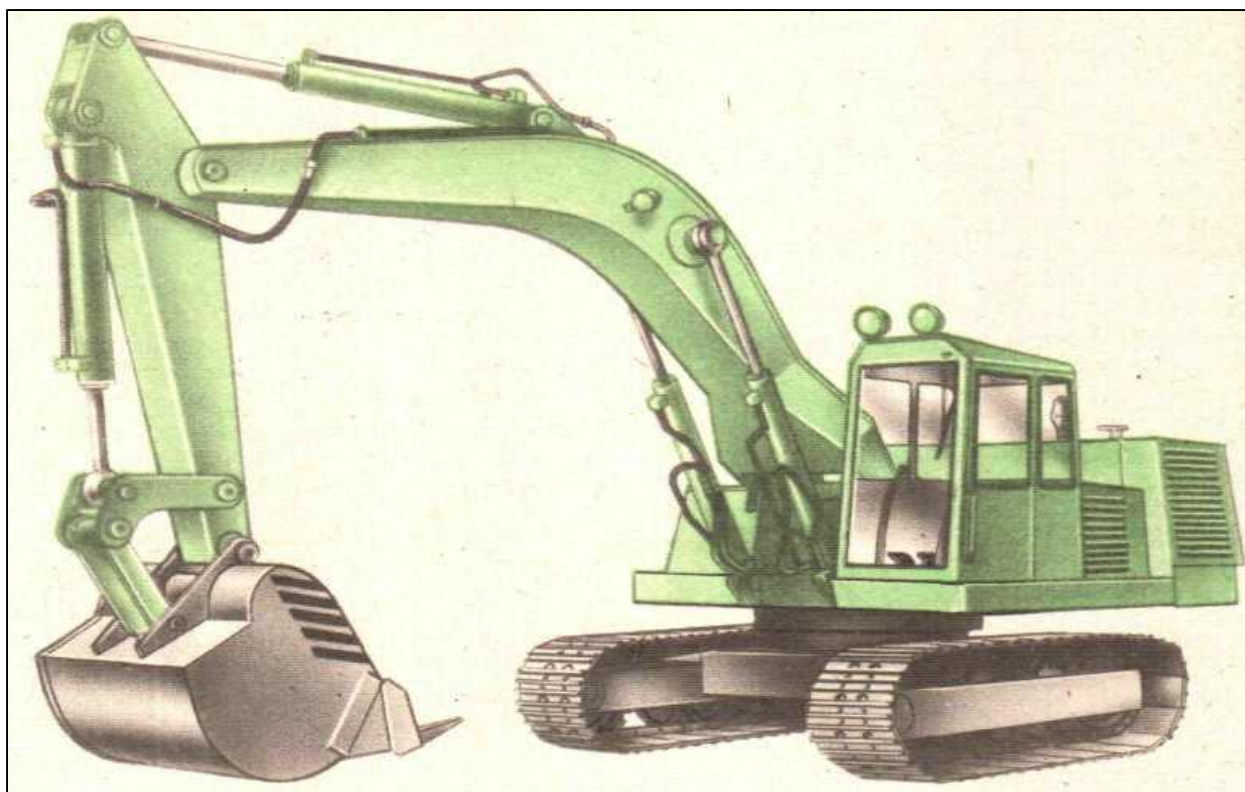


Рисунок 2.1 – Прототип экскаватора

2.1 Определение линейных и массовых характеристик проектируемого ЭО

Габаритные размеры экскаватора и рабочего оборудования ЭО-4224:

Продольная база (опорная длина гусениц), высота гусеничного хода и ширина гусеничной ленты, м:

$$B = 1,1 \cdot m^{1/3}; H_x = 0,3m^{1/3}; e_l = 0,22m^{1/3}, \quad (2.1)$$

$$B = 1,1\sqrt[3]{28} = 3,34\text{ м}; H_x = 0,3\sqrt[3]{28} = 0,91\text{ м}; e_l = 0,22\sqrt[3]{28} = 0,67\text{ м};$$

где $m = 28$ - масса экскаватора, т.

Ширину B гусеничного хода, согласно [13] рекомендуется принимать в зависимости от продольной базы B :

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27

$$B = B / (1, 2 \dots 1, 25), \quad (2.2)$$

$$B = \frac{3,34}{1,2} = 2,67 \text{ м}$$

Радиус R_x хвостовой части поворотной платформы определяют из условия незадевания платформой отвала грунта, основание которого удалено от опорного контура машины на расстояние $l_{om} = 500 \dots 700 \text{ мм}$.

В этом случае

$$R_x = 0,5B + l_{om} + (H_x + \Delta) \text{ctg} 45^\circ, \quad (2.3)$$

$$R_x = 0,5 \cdot 3,34 + 0,6 + (0,91 + 0,2) \text{ctg} 45^\circ = 3,38 \text{ м}$$

где $\Delta = 150 \dots 250 \text{ мм}$ - просвет (зазор) между гусеницей и поворотной платформой.

Диаметр опорно-поворотного круга, м:

$$D_{ОПК} = 0,55 m^{1/3}, \quad (2.4)$$

$$D_{ОПК} = 0,55 \sqrt[3]{28} = 1,67 \text{ м}$$

Массы узлов проектируемого экскаватора:

- платформа $m_{nl}^{np} = \frac{m_{nl}^3}{m^3} m^{np} = \frac{17920}{36921} 28000 = 13104,00 \text{ кг}$

- стрела $m_{cmp}^{np} = \frac{m_{cmp}^3}{m^3} m^{np} = \frac{4530}{36921} 28000 = 3416,00 \text{ кг}$

- рукоять $m_{рук}^{np} = \frac{m_{рук}^3}{m^3} m^{np} = \frac{1720}{36921} 28000 = 1288,00 \text{ кг}$

- ковш $m_{ковш}^{np} = \frac{m_{ковш}^{np}}{m^3} m^{np} = \frac{1590}{36921} 28000 = 1204,00 \text{ кг}$

- ходовая часть $m_{хч}^{np} = \frac{m_{хч}^3}{m^3} m^{np} = \frac{11790}{36921} 28000 = 8932,00 \text{ кг}$

Масса проектируемого экскаватора: $m^{np} = 13104 + 3416 + 1288 + 1204 + 8932 = 27944 \text{ кг}$

Модернизированный ковш навешивается на рабочее оборудование экскаватора, параметры которого приведены в табл. 2.1 и показаны на рисунке 2.2

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		28

Таблица 2.1 – Параметры механизмов привода рабочего оборудования

№	Параметр	Условное обозначение	Единица	Механизмы привода		
				стрелы	рукоя ти	ковша
1	Длина радиуса коромысла	ρ	м	2,02	0,88	1,1
2	Углы отклонения радиуса коромысла от оси неподвижного звена в крайних положениях штока	φ_n	град	35,93	17,53	37,07
3	Полный угол поворота ведомого звена	φ_o	град	87,57	130	109
4	Длина неподвижного звена	ℓ	м	0,81	2,87	2,76
5	Углы давления	$\gamma_n,$ γ_k	град	70,6-74,6	65 65	35,54 65
6	Угол установки неподвижного звена	β	град	42,11	17,47	10
7	Угол отклонения радиуса коромысла от оси ведомого звена	λ	град	31,82	10	23,512
8	Характеристика гидроцилиндра:					
	диаметр поршня	D	мм	90	90	125
	диаметр штока	d	мм	50	50	65
	ход поршня	S	мм	1120	1600	1600
	наименьшая длина	S_n	мм	1440	2050	2,05
	наибольшая длина	S_k	мм	2560	3650	3,65
9	Длина стрелы, рукояти и радиус ковша	ℓ_c, ℓ_p, R	мм	6300	3400	1330

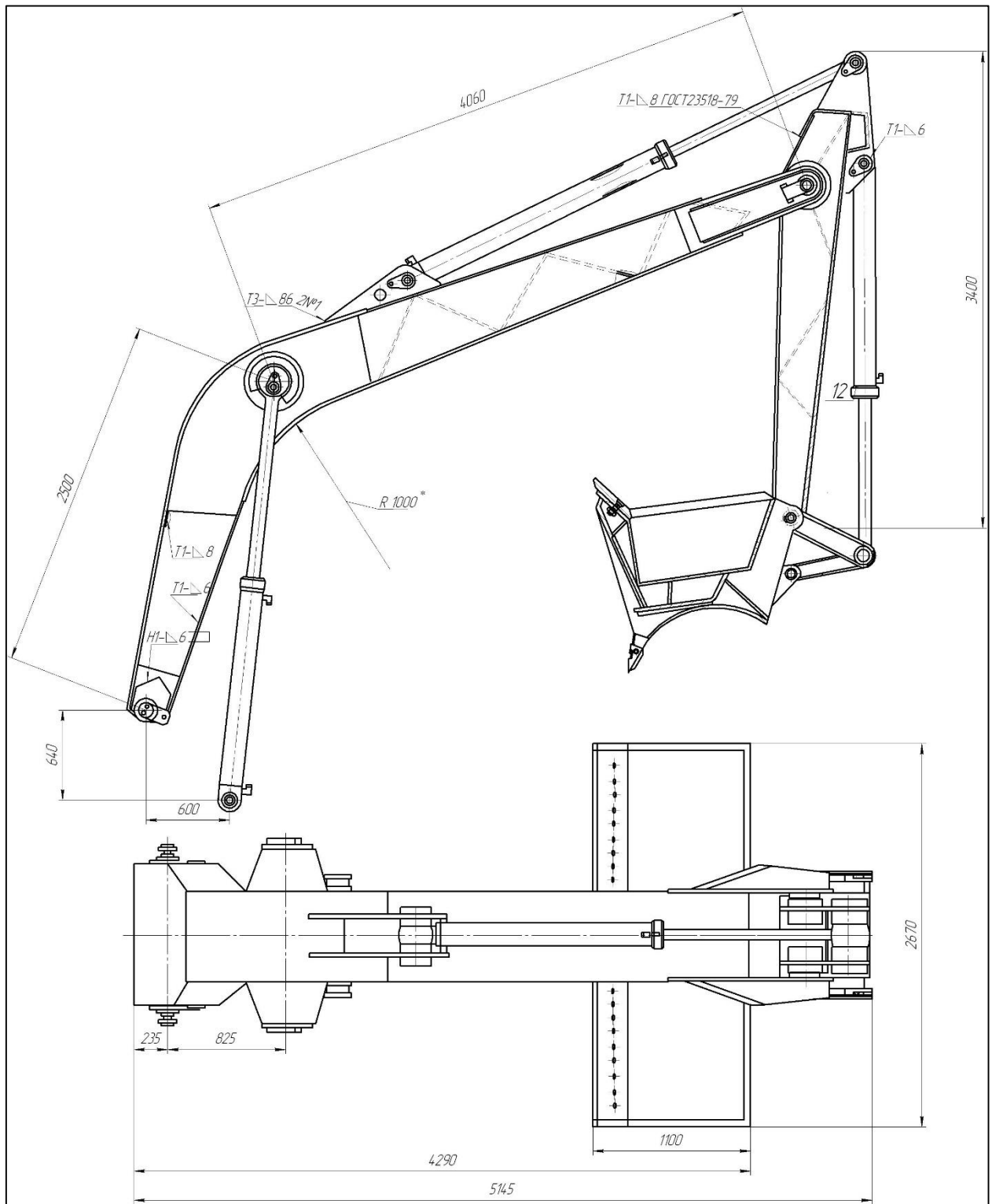


Рисунок 2.2 – Проектируемое рабочее оборудование экскаватора

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		30

Параметрическая схема разрабатываемого РО приведена на рисунке 2.3. Для утверждения верного пути модернизации произведем расчет предложенного оборудования.

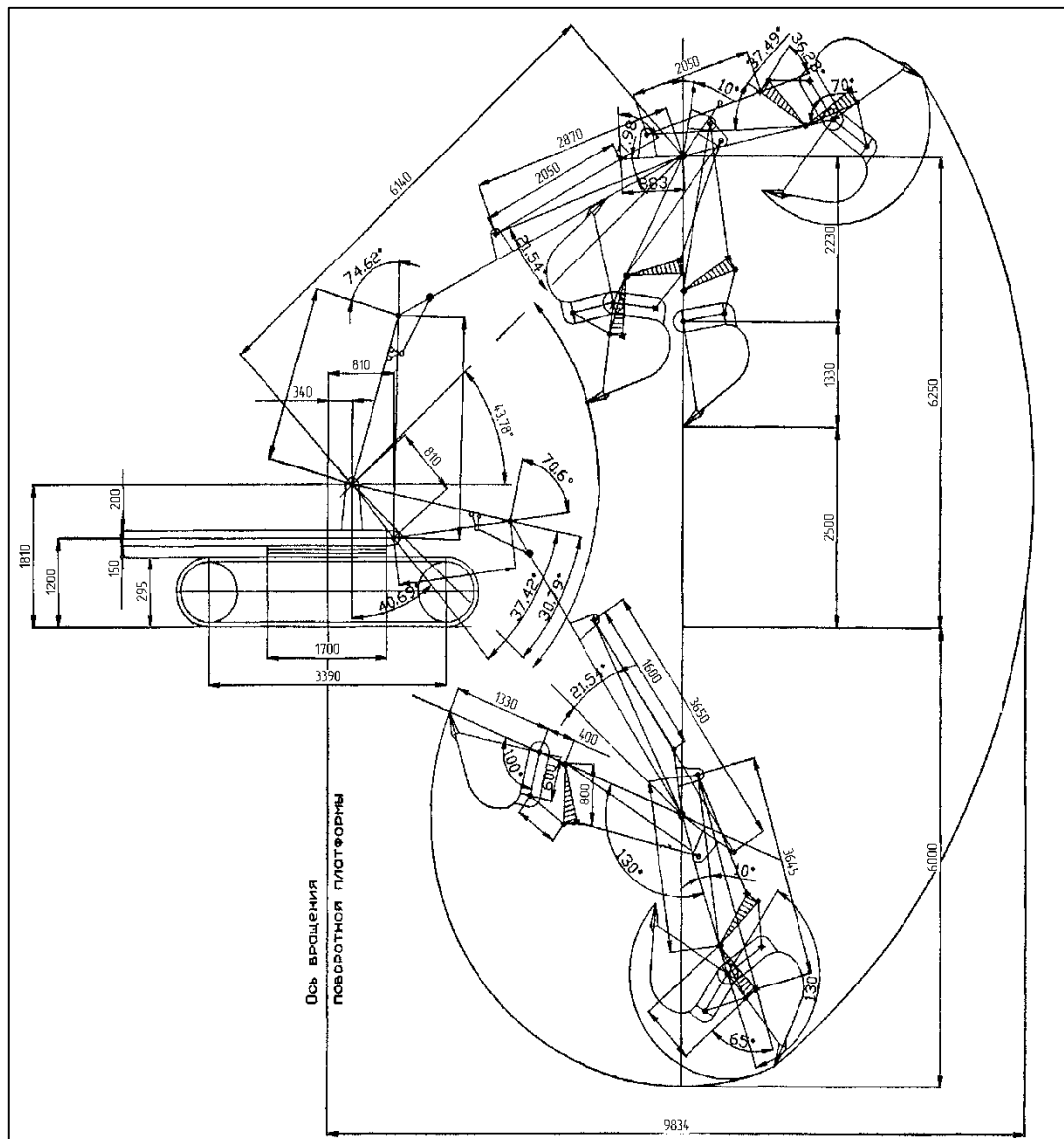


Рисунок 2.3 – Параметрическая схема обратной лопаты

2.2 Определение касательных усилий на режущей кромке модернизированного ковша и реактивных усилий в неподвижных гидроцилиндрах

При расчете принимают, что гидроцилиндр рукояти (ковша) развивает постоянное активное усилие $F_{ц}$ при номинальном давлении P_n в гидроприводе:

$$F_{ц(к)} = P_n \frac{\pi D^2}{4}, \quad (2.5)$$

Касательные усилия на режущей кромке ковша находят из равенства движущего момента от гидроцилиндра моменту внешних сил относительно оси поворота рукояти (точки **B**) при максимально опущенной неподвижной стреле, (рисунок 2.4.)

$$P_{01} = \frac{F_{ц} \cdot r_{ц} \pm G_p r_{p8} \mp G_{кр} \cdot r_{r8} + 0,5G_{цп} \cdot r_e}{r_{06}}, \quad (2.6)$$

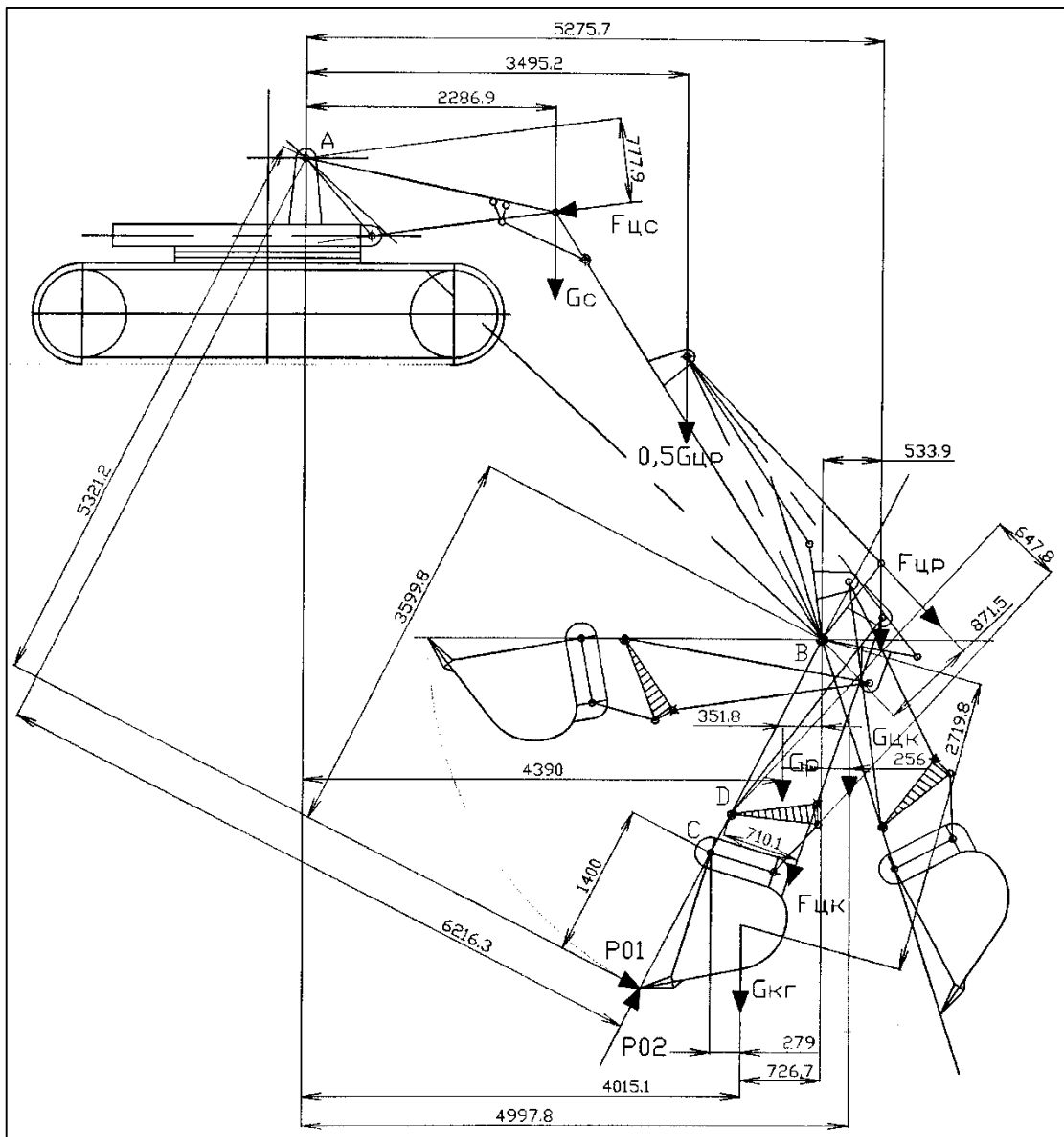


Рисунок 2.4 – Расчетная схема копания поворотом рукояти

а при копании поворотом ковша относительно точки C при неподвижной рукояти для расчетного положения 2.

$$P_{01} = \frac{F_{цк} \cdot r_{цд} \frac{r_{Тс}}{r_{ТД}} \pm G_{кр} \cdot r_{кс}}{R}, \quad (2.7)$$

где r_{OB} - радиус копания поворотом рукояти, который соответствует фиксированному положению ковша относительно рукояти.

Если кромка зубьев ковша находится на продолжении оси рукояти, то $r_{OB} = R + \ell_p$; $G_{кр} = G_k + G_r$ - вес ковша и грунта в ковше.

Длины плеч сил для соответствующего расчетного положения рукояти или ковша определяют графически по схеме, построенной в выбранном масштабе.

Касательные усилия по P_{01} определяют для крайних положений рукояти (ковша) и двух-четырех промежуточных положений. Результаты расчета в изобразим в виде графика зависимости $P_{01} = f(\varphi)$.

Вес грунта в ковше необходимо увеличивать по мере поворота рукояти (ковша) от $G=0$ в начале копания до веса грунта в конце копания, Н:

$$G_r = q \cdot \frac{k_n}{k_p} \cdot \gamma_0 \cdot g, \quad (2.8)$$

где γ_0 - плотность грунта в естественном его залегании, кг/м; g - ускорение свободного падения, м/с².

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		33

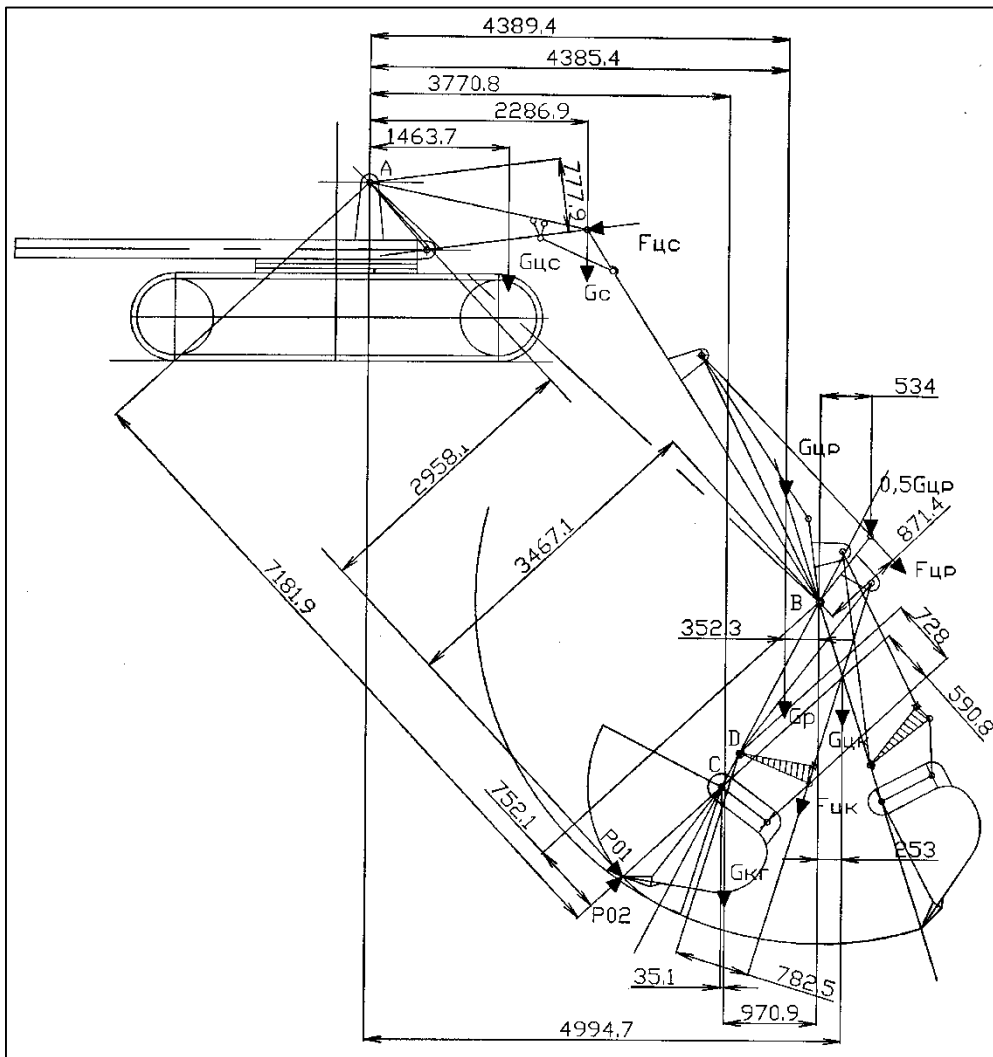


Рисунок 2.5 – Расчетная схема копания поворотом ковша

С помощью схемы копания поворотного ковша (рисунок 2.5) и приведенных формул для определения P_{01} возможно вычислить касательное усилие на режущей кромке ковша (по усилию гидроцилиндра) после выбора координат крепления корпуса и штока гидроцилиндров. Эти формулы записаны для фиксированного угла поворота рукояти или ковша, поэтому каждому значению угла поворота соответствуют свои длины плеч действующих сил. С изменением положения рукояти или ковша в формулах для вычисления касательного усилия на режущей кромке ковша изменяются длины плеч соответствующих сил. По расчетной схеме необходимо также решить вопрос, какие знаки, "+" или "-" будут иметь моменты от сил тяжести. Касательное усилие можно определить следующим образом:

- касательное усилие поворотом рукояти[13]:

$$P_{01} = \frac{1}{R + l_p} \left[\frac{P_u \pi D^2 \rho l \sin(\varphi_n + \varphi)}{4 \sqrt{\rho^2 + l^2 - 2 \rho l \cos(\varphi_n + \varphi)}} + (G_k + G_r \frac{\varphi}{\varphi_0}) r_{урк} \cos(\varphi + \alpha_n - \eta) + 0,35 G_p l_p \cos(\varphi + \alpha_n) \right] \quad (2.9)$$

- касательное усилие поворотом ковша[13]:

$$P_{01} = \frac{1}{R} \cdot \left\{ \left[P_4 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot \frac{\rho \cdot \ell \cdot \sin(\varphi_n + \varphi)}{\sqrt{\rho^2 + \ell^2 - 2\rho\ell \cos(\varphi_n + \varphi)}} - 0,5 \cdot (G_2 + G_3) \cdot \ell_2 \cdot \cos(\theta + \varphi_y + \varphi) \right] \times \right. \\ \left. \times \frac{\ell_4 \sin(\alpha + \omega - \varphi_y - \varphi)}{\ell_2 \cdot \sin \omega} - (G_k + G_r \frac{\alpha - \alpha_y}{\alpha_k}) \cdot 1,2 \cdot \ell_4 \cos(0,5\delta + \theta + \alpha) - 0,5G_3 \cdot \ell_4 \cos(\theta + \alpha) \right\} \quad (2.10)$$

По этим формулам учитывают зависимость касательного усилия от координат крепления корпуса и штока выбранного гидроцилиндра, т.е. от угла γ_n . С изменением угла γ_n изменяются координаты ρ и ℓ , а следовательно, и касательное усилие. Таким образом, оказывается целесообразным использовать ЭВМ для выявления зависимости координат ρ и ℓ от угла γ_n , а также касательного усилия от углов γ и γ_n . Поскольку координаты ρ и ℓ зависят от хода поршня гидроцилиндра, а также от полного угла γ_o поворота рукояти или ковша, с помощью ЭВМ можно установить зависимость геометрических параметров механизмов, а затем и касательного усилия от углов γ_n , γ_o , хода S , диаметра D поршня давления – $P_{ц}$ в гидроцилиндре.

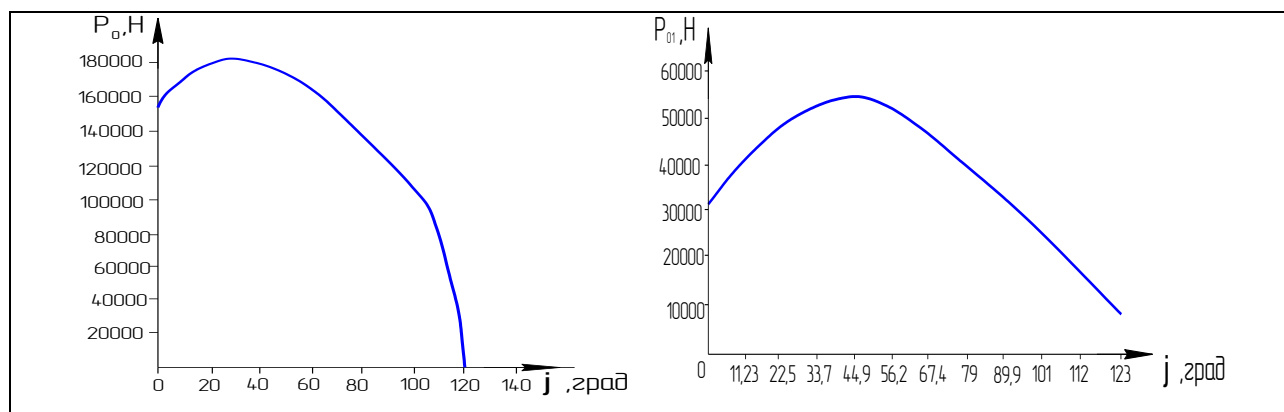


Рисунок 2.6 – Зависимость усилия копания от угла поворота рукояти и ковша

В результате расчета получен следующий график зависимости усилия копания от угла поворота рукояти и ковша (рисунок 2.6).

Касательное усилие на режущей кромке ковша ограничивается реактивными усилиями в неподвижных цилиндрах стрелы и ковша при копании поворотом рукояти или в неподвижных цилиндрах стрелы и рукояти при копании поворотом ковша, а также условиями устойчивости экскаватора. Поэтому реактивные усилия на штоках неподвижных гидроцилиндров определяем по известным касательным усилиям на режущей кромке ковша.

Вычислив усилия P_{01} для соответствующих положений рукояти, определяем реактивные усилия на штоках неподвижных гидроцилиндров по формулам указанным в [13]:

- стрелы:
$$F_{цс} \rightarrow \sum M_A = 0; \quad (2.11)$$

$$F_{цс} = \frac{1}{2r_{цс}} [P_{01}r_{0A} - P_{02}r'_{0A} + G_{к+r}r_{кA} + G_p r_{pA} + G_c r_{cA} + G_{цк} r_A + 0,5G_{цр} (r'_A + r''_A)]; \quad (2.12)$$

$$- \text{ КОВША: } F_{\text{ук}} \rightarrow \sum M_c = 0; , \quad (2.13)$$

$$F_{\text{ук}} = \frac{(P_{01} \cdot r_{0c} \pm G_{kr} \cdot r_{kc}) r_{TD}}{r_{LD} \cdot r_{TC}} , , \quad (2.14)$$

где r - длины плеч соответствующих сил относительно точек А, С и Д [2];
 P_{01}, P_{02} - касательные усилия на режущей кромке ковша

$$P_{01} = 53994,23 \text{ Н}; P_{02} = 0,2 P_{01} = 0,2 \cdot 53994,23 = 10798,846 \text{ Н};$$

вес ковша с грунтом, принимаем, что ковш в этом положении заполнен на половину:

$$G_{\kappa+r} = (m_{\kappa} + 0,5 m_r) g , \quad (2.15)$$

$$G_{\hat{E}+\bar{A}} = (1204 + 0,5 \cdot 1500 \cdot 0,65) \cdot 9,81 = 16576,7 \text{ Ё};$$

$$\text{Вес рукояти: } G_{D\hat{O}\hat{E}} = m_{D\hat{O}\hat{E}} \cdot g = 1288 \cdot 10 = 12880 \text{ Ё};$$

$$\text{Вес стрелы: } G_{\bar{N}\hat{O}\hat{D}} = m_{\bar{N}\hat{O}\hat{D}} \cdot g = 3416 \cdot 10 = 34160 \text{ Ё};$$

$G_{\text{ук}}, G_{\text{уп}}, G_{\text{ис}}$ - вес соответственно ковша, рукояти, стрелы. $G_{\text{ui}} = m_{\text{ui}} g$

$$F_{\hat{O}\bar{N}} = \frac{1}{2 \cdot 0,77} [53994,2 \cdot 5,32 - 10798 \cdot 6,21 + 16576,7 \cdot 4,01 - 12880 \cdot 4,39 - 34160 \cdot 2,28 - 1765,8 \cdot 4,99 - 0,5 \cdot 1765,8(5,27 + 3,49)] = 87116,62 \text{ Ё}$$

$$F_{\hat{O}\hat{E}} = \frac{(53994,23 \cdot 1,4 - 16576,70 \cdot 0,28)}{0,54 \cdot 0,71} = 119870 \text{ Ё} .$$

По известным усилиям P_{01} для соответствующих положений ковша находим реактивные усилия на штоках неподвижных гидроцилиндров:

$$\text{рукояти: } F_{\text{уп}} \rightarrow \sum M_B = 0; , \quad (2.16)$$

$$F_{\text{уп}} = \frac{1}{r_{\text{уп}}} (P_{01} r_{0B} + P_{02} r'_{0B} - G_{\kappa+r} r_{\kappa B} + G_p r_{pB} - 0,5 G_{\text{уп}} r_B - G_{\text{ук}} r_{\text{уб}}); \quad (2.17)$$

$$\text{стрелы: } F_{\text{ис}} \rightarrow \sum M_A = 0; , \quad (2.18)$$

$$F_{\text{ис}} = \frac{1}{2 r_{\text{ис}}} (P_{01} r'_{0A} \pm P_{02} r'_{0A} - G_{kr} r_{\kappa A} - G_p r_{pA} - G_c r_{cA} - G_{\text{ис}} r'_{\text{ис}A} - G_{\text{уп}} r''_{\text{ис}A} - G_{\text{ук}} r'''_{\text{ис}A}), \quad (2.19)$$

где r измеряют непосредственно по расчетной схеме, построенной в произвольном масштабе.

$$F_{\hat{O}\hat{D}} = \frac{1}{2 \cdot 0,78} (181390 \cdot 2,95 + 0,2 \cdot 181390 \cdot 7,18 + 16576,70 \cdot 0,97 + 12880 \cdot 0,352 - 0,5 \cdot 1765,8 \cdot 0,53 - 1765,8 \cdot 0,25) = 900099,91 \text{ Ё}$$

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		36

$$F_{\text{öN}} = \frac{1}{2 \cdot 0,78} (181390 \cdot 2,96 + 0,2 \cdot 181390 \cdot 7,18 - 16576 \cdot 3,77 + 12880 \cdot 4,39 - 34160 \cdot 2,29 - 1765,8 \cdot 1,46 - 1765,8 \cdot 4,38 - 1765,8 \cdot 4,99) = 270964,89 \text{ Í}$$

По найденным реактивным усилиям определяют реактивные давления в цилиндрах стрелы, ковша и рукояти с учетом того, какая полость гидроцилиндров работает:

$$P_{nc} = \frac{4F_{uc}}{\pi D^2}; \quad (2.20)$$

$$P_{uc} = \frac{4F_{uc}}{\pi(D^2 - d^2)}, \quad (2.21)$$

стрела:

$$D_{iN} = \frac{4 \cdot 270964,89}{3,14 \cdot 0,09^2} = 42,57 \text{ Ìà} ;$$

$$D_{\phi N} = \frac{4 \cdot 270964,89}{3,14 \cdot (0,09^2 - 0,05^2)} = 61,58 \text{ Ìà} ;$$

рукоять:

$$D_{iD} = \frac{4 \cdot 415567}{3,14 \cdot 0,05^2} = 65,35 \text{ Ìà} ;$$

$$D_{\phi D} = \frac{4 \cdot 415567}{3,14 \cdot (0,05^2 - 0,09^2)} = 94,53 \text{ Ìà} ;$$

ковша:

$$D_{iE} = \frac{4 \cdot 119870}{3,14 \cdot 0,125^2} = 9,77 \text{ Ìà} ;$$

$$D_{\phi E} = \frac{4 \cdot 119870}{3,14 \cdot (0,125^2 - 0,065^2)} = 13,39 \text{ Ìà} ;$$

где P_n, P_{uc} - реактивное давление соответственно в поршневой и штоковой полости; F_{uc} - реактивное усилие на штоке гидроцилиндра. Если реактивное давление превышает номинальное не менее чем в 1,2-1,5 раза, необходимо предусмотреть установку предохранительного клапана в соответствующей магистрали.

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		37

2.3 Определение максимальных нагрузок, воспринимаемых модернизированным рабочим оборудованием - обратная лопата

Максимальные нагрузки на рабочее оборудование обратной лопаты действуют при копании поворотом ковша. При этом реактивное давление в цилиндре рукоятки не может быть выше предельного значения $P_{\max}=(1,2\dots 1,5)P_H$, где P_H - давление в гидроприводе.

$$P_{\max} = 1,2 \cdot P_H = 1,2 \cdot 25000000 = 30000000 \text{ Па}$$

Максимальное реактивное усилие в цилиндре рукоятки (при работе поршневой полостью):

$$F_{\dot{O}B\dot{O}} = \dot{D}_{\max} \frac{\pi D^2}{4} = 30 \cdot 10^6 \frac{3,14 \cdot 0,09^2}{4} = 190,75 \text{ кН}$$

Нагрузки на рабочее оборудование достигают максимальных значений примерно во втором положении рукоятки при копании поворотом ковша примерно в четвертом положении. При этом усилие на зубьях ковша P_{01} не может быть больше, чем при копании поворотом рукоятки с максимальным реактивным усилием в ее цилиндре. Усилие P_{01} , перпендикулярное к радиусу ковша, находим при условии $\Sigma M_B = 0$:

$$P_{01} = \frac{1}{r_{ог} + 0,2r'_{ог}} (F_{црт} \cdot r_{цр} - G_{кр} \cdot r_{кв} - G_p r_{пв} + G_{цк} \cdot r'_{цв} + 0,5G_{цр} \cdot r''_{цв}); \quad (2.22)$$

где $G_{кр}$ – сила тяжести ковша с грунтом, наполненного на $\frac{1}{2}$ своей вместимости.

Длину плеч сил берем из расчетной схемы. Нормальная составляющая $P_{02} = 0,2P_{01}$.

Нагрузки на рабочее оборудование достигают максимальных значений при повороте рукоятки от начального положения на $44,928^\circ$. при этом усилие на зубьях ковша $P = 53,99423 \text{ кН}$

Усилие в тяге ковша:

$$T = \frac{1}{r_{Тс}} (P_{01} \cdot R - G_{кр} \cdot r_{кв}), \quad (2.23)$$

$$\dot{O} = \frac{1}{0,54} (53,99 \cdot 1,4 - 16576,70 \cdot 0,28) = 131,38 \text{ кН}$$

Активное усилие в цилиндре ковша при условии равновесия рычага:

$$F_{цк} = T \cdot \frac{r_{ТД}}{r_{цД}}, \quad (2.24)$$

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		38

$$F_{\dot{O}\dot{E}} = 131,38 \frac{0,65}{0,71} = 120,27 \text{ еі}$$

где $r_{цд}$, $r_{тд}$ – длина плеча силы соответственно $F_{цк}$ и T

Усилия по величине и направлению во всех шарнирах рабочего оборудования определяем графически. Для чего строим многоугольники сил по расчетной схеме (рисунок 2.7).

Получаем:

- реакцию в точке D построением многоугольника сил $T = 129,707 \text{ кН}$, $F_{цк} = 118,087 \text{ кН}$. Отсюда $R_D = 51,57 \text{ кН}$;

- реакцию в точке C построением многоугольника сил $T = 129,707 \text{ кН}$; $G_{к+r} = 18,5517 \text{ кН}$; $P_{02} = 10,779 \text{ кН}$; $P_{01} = 53,994 \text{ кН}$. Отсюда $R_C = 133,93 \text{ кН}$;

- реакцию в точке B построением многоугольника сил $P_{01} = 53,994 \text{ кН}$; $P_{01} = 53,994 \text{ кН}$; $F_{\dot{O}D\dot{I}} = 190,75 \text{ еі}$; $0,5G_{\dot{O}D} = 0,88 \text{ еі}$; $G_{\dot{O}\dot{E}} = 1,77 \text{ еі}$
 $G_D = 12,8 \text{ еі}$; $G_{\dot{E}+\dot{A}} = 16,576 \text{ еі}$. Отсюда $R_B = 323,92 \text{ кН}$;

- реакцию в точке A находятся построением многоугольника сил $F_{цк} = 79,977 \text{ кН}$; $0,5G_{цр} = 0,883 \text{ кН}$; F_B - равнодействующая сил направлена противоположно реакции $R_B = 323,92 \text{ кН}$. Отсюда $R_A = 99,71 \text{ кН}$

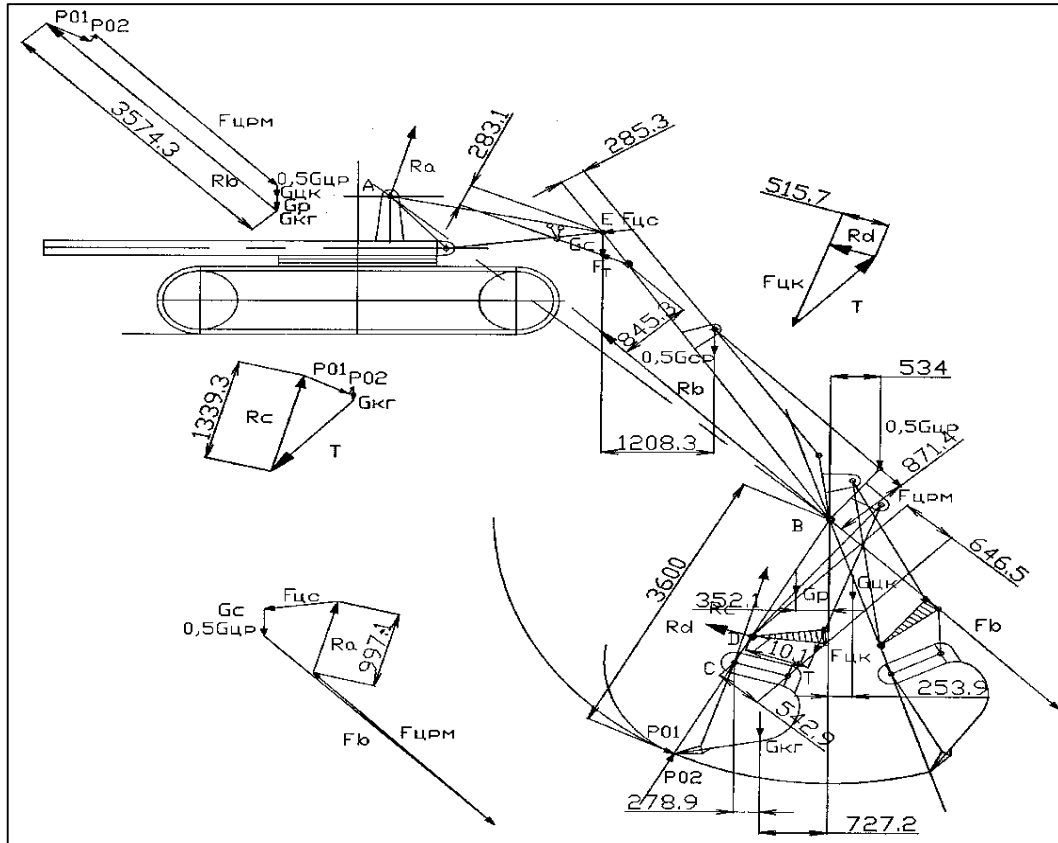


Рисунок 2.7 – Расчетная схема к определению максимальных нагрузок

2.4. Определение производительности экскаватора с модернизированным ковшом и определение эффективности новой конструкции на основании сопоставление результатов с базовой машиной

Эксплуатационная часовая производительность $\Pi_э$ экскаватора:

$$\Pi_э = q \frac{3600 \cdot K_H}{t_u \cdot K_P} K_B \quad (2.25)$$

где q - геометрическая вместимость ковша ($q=0,65 \text{ м}^3$ – базовый ковш,

$q'=0,65+0,55=1,2 \text{ м}^3$ - вместимость планировочного ковша, м;

K_H - коэффициент наполнения ковша, $K_H=0,9...1,1$;

$t_u=20$ с - продолжительность рабочего цикла, с;

K_P - коэффициент разрыхления грунта, $K_P = 1,15...1,4$;

K_B - коэффициент использования экскаватора по времени, $K_B = 0,6,..0,8$.

Эксплуатационная часовая производительность $\Pi_э$ базового экскаватора:

$$\Pi_э = 0,65 \frac{3600 \cdot 0,9}{20 \cdot 1,20} 0,7 = 61,4 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Эксплуатационная часовая производительность $\Pi_э$ нового экскаватора:

$$\Pi'_э = 1,2 \frac{3600 \cdot 0,9}{20 \cdot 1,20} 0,7 = 113 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

Эксплуатационная сменная производительность $\Pi_{э.см}$ экскаватора:

базовой конструкции: $\dot{V}_{\dot{V}.н\dot{и}} = \dot{v} \cdot \dot{V}_{\dot{V}} = 8,2 \cdot 61,4 = 503,68 \dot{\text{и}}^3 / \dot{\text{н}}\dot{\text{и}}$

новой конструкции: $\Pi'_{э.см} = m \cdot \Pi_э = 8,2 \cdot 113 = 929,78 \text{ м}^3 / \text{см}$

где $m=8,2$ ч - продолжительность смены, ч.

Определение эффективности новой конструкции:

$$K_{\Pi_э} = \frac{\Pi'_э}{\Pi_э}; \quad K_{\Pi_э.см} = \frac{\Pi'_{э.см}}{\Pi_{э.см}} \quad (2.26)$$

где $K_{\Pi_э}$ и $K_{\Pi_э.см}$ – коэффициенты определяющие эффективность новой конструкции на основании сопоставления результатов расчета часовая $\Pi_э$ и сменной производительности $\Pi_{э.см}$ экскаватора.

$$K_{\Pi_э} = \frac{113}{61,4} = 1,84;$$

$$K_{\Pi_э.см} = \frac{929,78}{503,68} = 1,846.$$

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		40

Определение коэффициента эффективности новой техники, основанный на результатах расчета производительности позволил доказать работоспособность и эффективность нового технического решения, которая в 1,84 раза выше показателей базовой машины.

Вывод по разделу: в данном разделе мной были произведены общие расчёты характеристик экскаватора, который мы оснастили оборудованием повышенной эффективности. Полученные значения будут использованы в последующий расчетах.

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		41

3 РАЗРАБОТКА РАБОЧЕГО ОРГАНА ДЛЯ ПЛАНИРОВОЧНЫХ РАБОТ

Модернизированный ковш повышенной емкости навешивается на рабочее оборудование экскаватора (прототипом которого является ЭО-4224) как комплект спаренного оборудования, в состав которого входит: базовая машина, механизмы управления, стрела, рукоять и ковш. Причем ковш, оснащен ножевой системой (по примеру отвальных рабочих органов), рыхлительным оборудованием и отвальной поверхностью (Рисунок. 3.1).

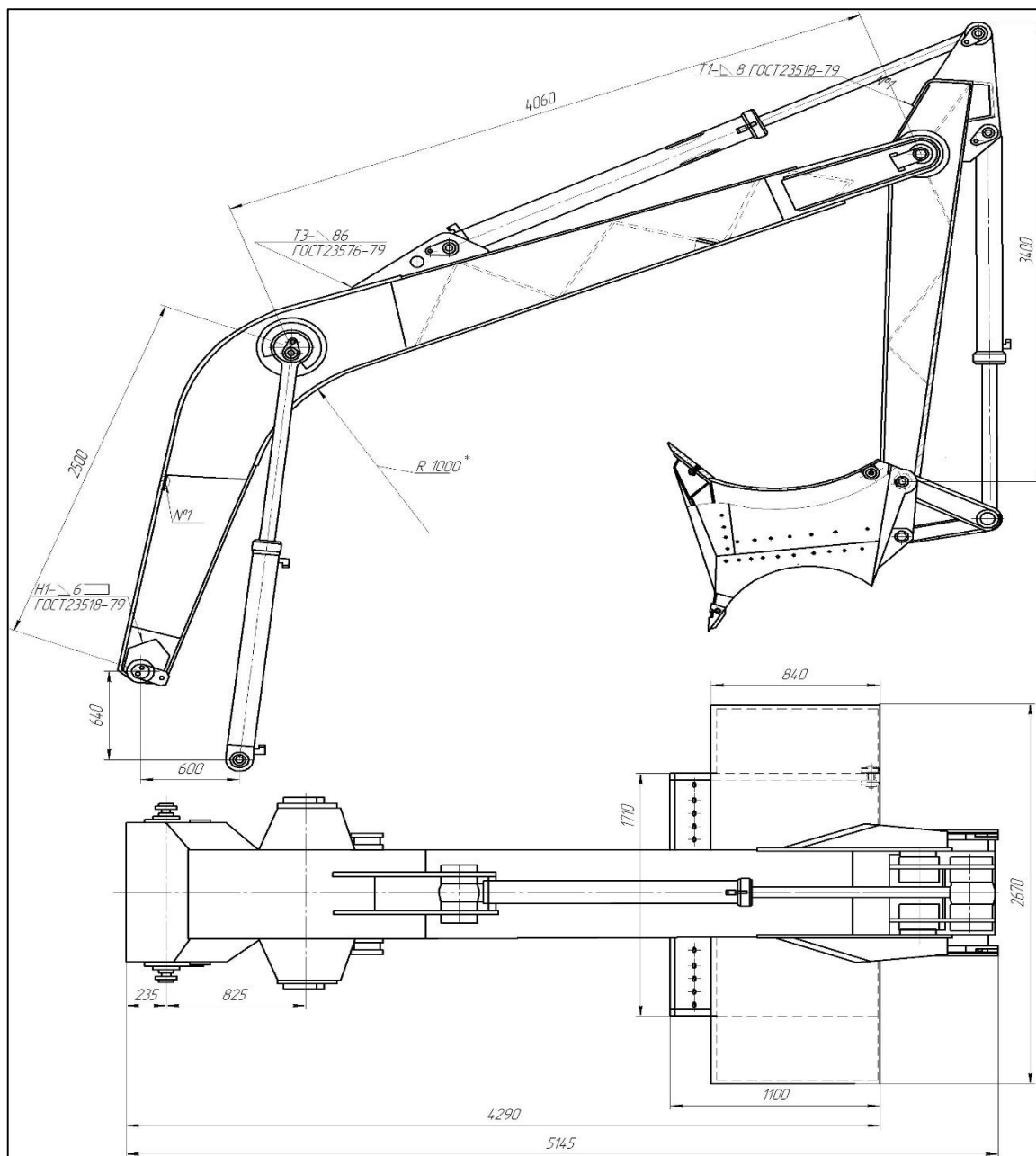


Рисунок 3.1 – РО экскаватора, оснащенный отвальной поверхностью и рыхлительными зубьями

Для утверждения верного пути модернизации произведем расчет основных параметров ковша и спроектируем его.

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		42

3.1 Определение рациональных параметров рабочего органа экскаватора

Основные параметры строительных экскаваторов регламентированы ГОСТ 17383-83 [2]. Размеры ковша с полукруглой кромкой находятся по следующим формулам:

$$\text{Емкость ковша:} \quad V = BHL, \quad (3.1)$$

$$\text{где } B \text{ - длина ковша, м:} \quad b = 1,7q^{1/3} - 0,5, \quad (3.2)$$

$$b = 1,7\sqrt[3]{1,2} = 1,71\text{м}$$

$$H \text{ - высота ковша, м:} \quad H = 885 \sqrt[3]{V}, \quad (3.3)$$

$$H = 885 \sqrt[3]{1,2} = 1,2\text{м}$$

$$L \text{ - ширина ковша, м:} \quad L_o = 770 \sqrt[3]{V}, \quad (3.4)$$

$$L_o = 770 \sqrt[3]{1,2} = 1,35\text{м}$$

$$L_1 = 0,45L, \quad (3.5)$$

$$\text{Высота задней стенки ковша:} \quad H_1 = 1000 \sqrt[3]{V}, \quad (3.6)$$

$$H_1 = 1000 \sqrt[3]{0,65} = 0,87\text{м}$$

$$\text{Высота боковых граней ковша:} \quad H_2 = R_o + K, \quad (3.7)$$

$$\text{Высота ковша с крепежным элементом:} \quad H_3 = 1140 \sqrt[3]{V}, \quad (3.8)$$

$$H_3 = 1140 \sqrt[3]{1,2} = 1,30\text{м}$$

$$\text{Радиус криволинейной поверхности ковша:} \quad R_o = 0,5B, \quad (3.9)$$

$$R_2 = R_K + 0,21K, \quad (3.10)$$

$$R_K = R_o + S_o, \quad (3.11)$$

Радиус ковша, т.е. расстояние между осью шарнира крепления ковша к рукояти и ножом, м:

$$R = 1,25 \cdot q^{1/3} + 0,25, \quad (3.12)$$

$$R = 1,05\sqrt[3]{1,2} = 1,38\text{м}$$

где q - вместимость ковша проектируемого экскаватора, м^3 .

$$\text{Толщина днища ковша:} \quad S_o = 37 \sqrt[3]{V}, \quad (3.13)$$

$$S_o = 37 \sqrt[3]{0,65} = 32\text{мм}$$

уменьшается на 15...25 %; q – вместимость ковша геометрическая, m^3 ; H_n - высота напорного вала, м; K_p – коэффициент разрыхления грунта.

Угол резания.

Основываясь на теоретических данных, примем, для уменьшения сил сопротивления копании угол резания режущей кромки коша $\alpha_p = 45^\circ$.

Таблица 3.1 – Параметры модернизированного экскаваторного ковша

1	Ширина ковша, мм	1350
2	Высота ковша, мм.	1300
3	Длина ковша, мм.	1710
4	Радиус ковша, мм.	1380
5	Угол резания кромки ковша, град.	45
6	Угол резания зубьев ковша, град.	45
7	Количество зубьев, шт.	4
8	Масса коша, т.	0,75

Таблица 3.2 – Параметры базового экскаваторного ковша

1	Ширина ковша, мм	1200
2	Высота ковша, мм.	1300
3	Длина ковша, мм.	1680
4	Радиус ковша, мм.	1250
5	Угол резания кромки ковша, град.	45
6	Угол резания зубьев ковша, град.	45
7	Количество зубьев, шт.	4
8	Масса коша, т.	0,70

3.2 Определение рациональных размеров отвальной поверхности

Определим касательную составляющую сопротивления грунта копание - P_{01} (Н)

$$P_{01} = \frac{K_r \cdot q_k \cdot K_H}{K_p \cdot R_k} \quad (3.18)$$

определяем по формуле [10]:,

где K_r - удельное сопротивление грунта копанию, по данным при копании
немерзлых грунтов III группы, типа - суглинок, ковшом $K_r = 14 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2$;
 q_k - емкость ковша, м³;

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		46

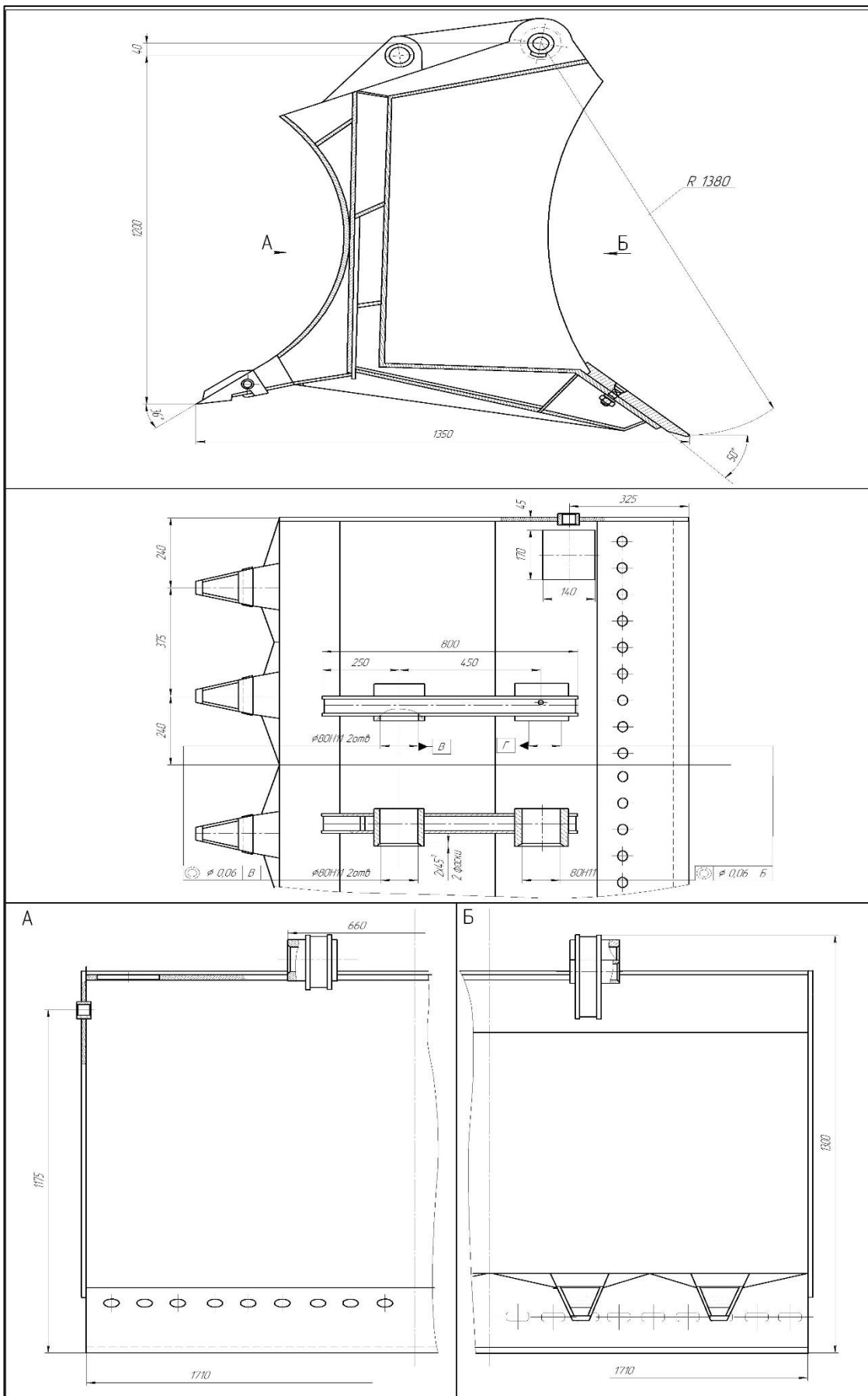


Рисунок. 3.3 – Модернизированная конструкция ковша экскаватора

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.041.00.00.000

Лист

47

K_p - коэффициент рыхления грунта, для мерзлых грунтов, $K_p = 1,1$ [13].

Все ковша с грунтом δ_{k+r} (Н) определяем по формуле:

$$\delta_{k+r} = \delta_k + \delta_r = K_M \cdot q_k \cdot q + \frac{\rho_r \cdot q_k \cdot K_H}{K_p} \cdot q \quad (3.19)$$

где δ_k , δ_r - соответственно вес ковша и грунта в ковше, Н;

q - ускорение свободного падения, $q = 9,81 \text{ м/с}^2$;

K_M - удельная материалоемкость ковша, $K_M = 800 \text{ кг/м}^3$ [14];

ρ_r - плотность грунта, для немерзлого грунта III группы типа - суглинок $\rho_r = 1700 \text{ кг/м}^3$ [13];

K_H - коэффициент наполнения ковша, принимаем $K_H = 1,0$.

$$P_{01} = \frac{14 \cdot 10^4 \cdot 1,2 \cdot 1,0}{17 \cdot 9,3} = 10626 \text{ Н}$$

Определим длину отвальной поверхности L выбирают из расчета перекрытия габарита базовой машины по ширине.

Принимаем: $L = 2670 \text{ мм}$.

Определим высоту отвальной поверхности определяют в зависимости от конструктивных параметров ковша и уточним их методом расчета на основании существующих показаний усилий развиваемых базовой машиной, мм

$$H \approx 500 \cdot \sqrt[3]{0,1 \cdot T_T} - 0,5 \cdot T_T = 500 \cdot \sqrt[3]{0,1 \cdot 10626} - 0,5 \cdot 10626 = 1025 \text{ мм} \quad (3.20)$$

Принимаем: $H = 1025 \text{ мм}$.

Определим конструктивные параметры методом построения и нахождения неизвестной графо-аналитически.

Построение профиля выполняется в соответствии с Рисунок. 3.4, следующим образом. Из точки O (начало координат) проводят прямую $O-A$ под углом ε и прямую $O-B$ под углом α к оси абсцисс. Точка A получается в результате пересечения прямой $O-A$ с горизонталью, проведенной на расстоянии H от оси абсцисс, а точка B лежит на расстоянии a от точки O . Из точки A проводится прямая под углом опрокидывания β , являющаяся касательной к профилю отвала в этой точке. Перпендикуляр к этой касательной AO пересекается с перпендикуляром к

касательной OB в центре профиля отвала O_1 , откуда радиусом $O_1A = O_1B = R$ может быть очерчен профиль криволинейной части отвала.

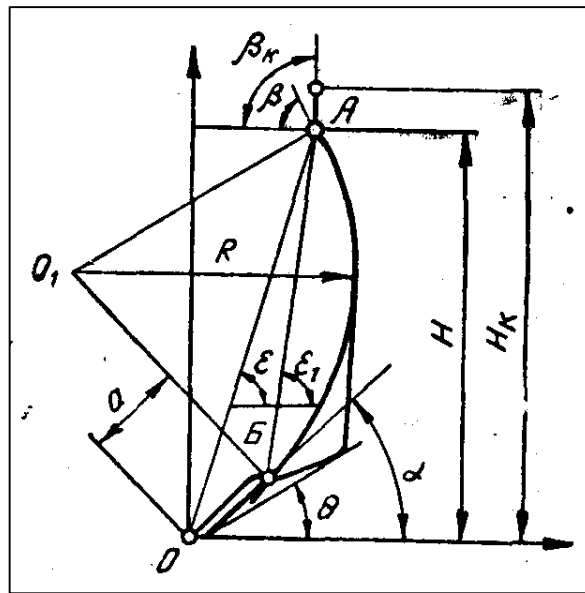


Рисунок. 3.4 – Профиль отвальной поверхности

Принимаем $\alpha = 50^\circ$, $\varepsilon = 75^\circ$.

Определим постоянный радиус кривизны, мм

$$R = (0,8 \dots 0,9) \cdot H = 0,85 \cdot 1025 = 1000 \text{ мм} \quad (3.21)$$

6. Угол наклона криволинейной части профиля получаем из условия, $2 \cdot \varepsilon_1 - \alpha + \beta = 180^\circ$,

$$(3.22)$$

следовательно $2 \cdot \varepsilon_1 - 50^\circ + 70^\circ = 180^\circ$,

$$\varepsilon_1 = \frac{180^\circ + 50^\circ - 70^\circ}{2} = 80^\circ$$

тогда

7. Угол наклона криволинейной части профиля получаем по формуле

$$\varepsilon_1 = \arctg \left(\frac{H - a \cdot \sin \alpha}{H \cdot \operatorname{ctg} \varepsilon - a \cdot \cos \alpha} \right), \text{ град} \quad (3.23)$$

$$\varepsilon_1 = \arctg \left(\frac{1154 - 200 \cdot \sin 50^\circ}{1154 \cdot \operatorname{ctg} 75^\circ - 200 \cdot \cos 50^\circ} \right) = 89,95 \approx 92^\circ$$

Опираясь на графические построения и конструктивные особенности, принимаем $\varepsilon_1 = 92^\circ$.

Толщина лобового листа определяется ориентировочно в зависимости от номинального тягового усилия что видно на схеме отвальной поверхности (рисунок 3.5)

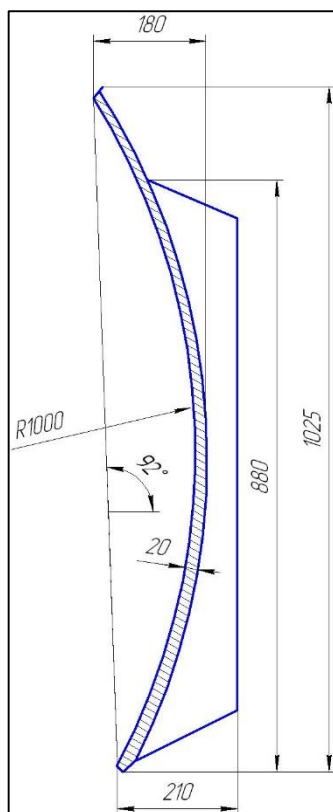


Рисунок 3.5 – Схема отвальной поверхности с основными габаритными размерами

Конструкция отвальной поверхности.

Отвальная поверхность выполнена из листовой стали 09Г2С с ребрами жесткости.

Ширина листа была принята с учетом обеспечения прироста перемещаемой призмы (и возможности выполнять планировочные работы) в среднем на 50%, а также предварительного прочностного расчета.

Толщина листа принята равной 20мм.

Остальные конструктивные параметры подбираем путем проведения графо-аналитического метода, основанного на построении конструкции и нахождении ее параметров во время вычерчивания имеющихся параметров конструкции. В результате построения была выбрана и обоснована конструкция отвальной поверхности приведенной на Рисунок. 3.6.

Конструктивные параметры ковша оснащенного отвальной поверхностью представлены в табл. 3.2.

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		50

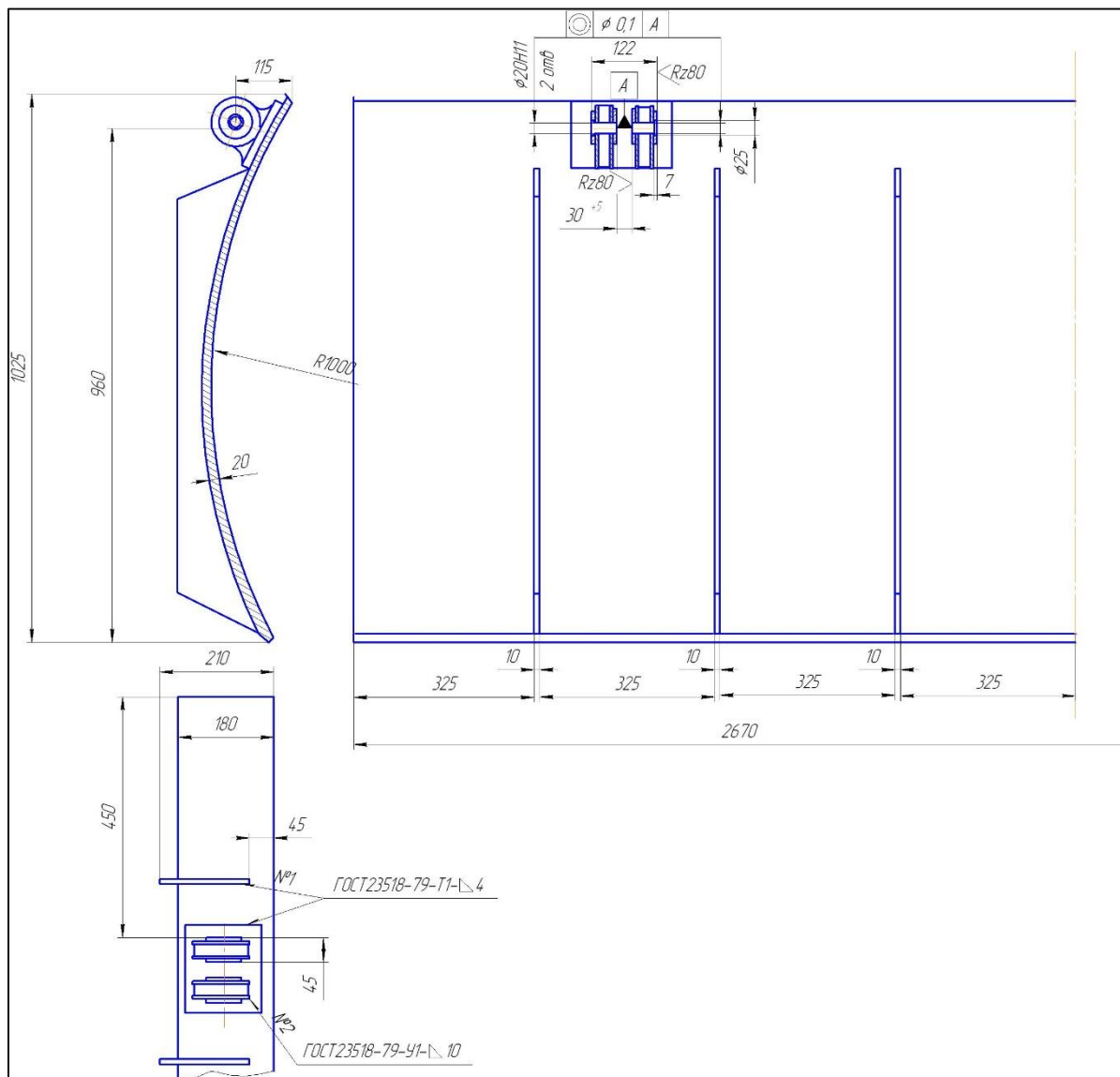


Рисунок 3.6 – Отвальная поверхность

Параметры модернизированного экскаваторного ковша с отальной поверхностью:

Таблица 3.2 – Параметры ковша, оснащенного отальной поверхностью

1	Ширина ковша с отальной поверхностью:	1350
2	Высота ковша с отальной поверхностью, мм	1300
3	Длина ковша с отальной поверхностью, мм	2670
4	Радиус кривизны лобовой поверхности, мм	900
5	Угол резания, град	45
6	Масса ковша с отальной поверхностью, т	0,9

Общий вид рабочего органа с отальной поверхностью приведен на рисунке 3.7

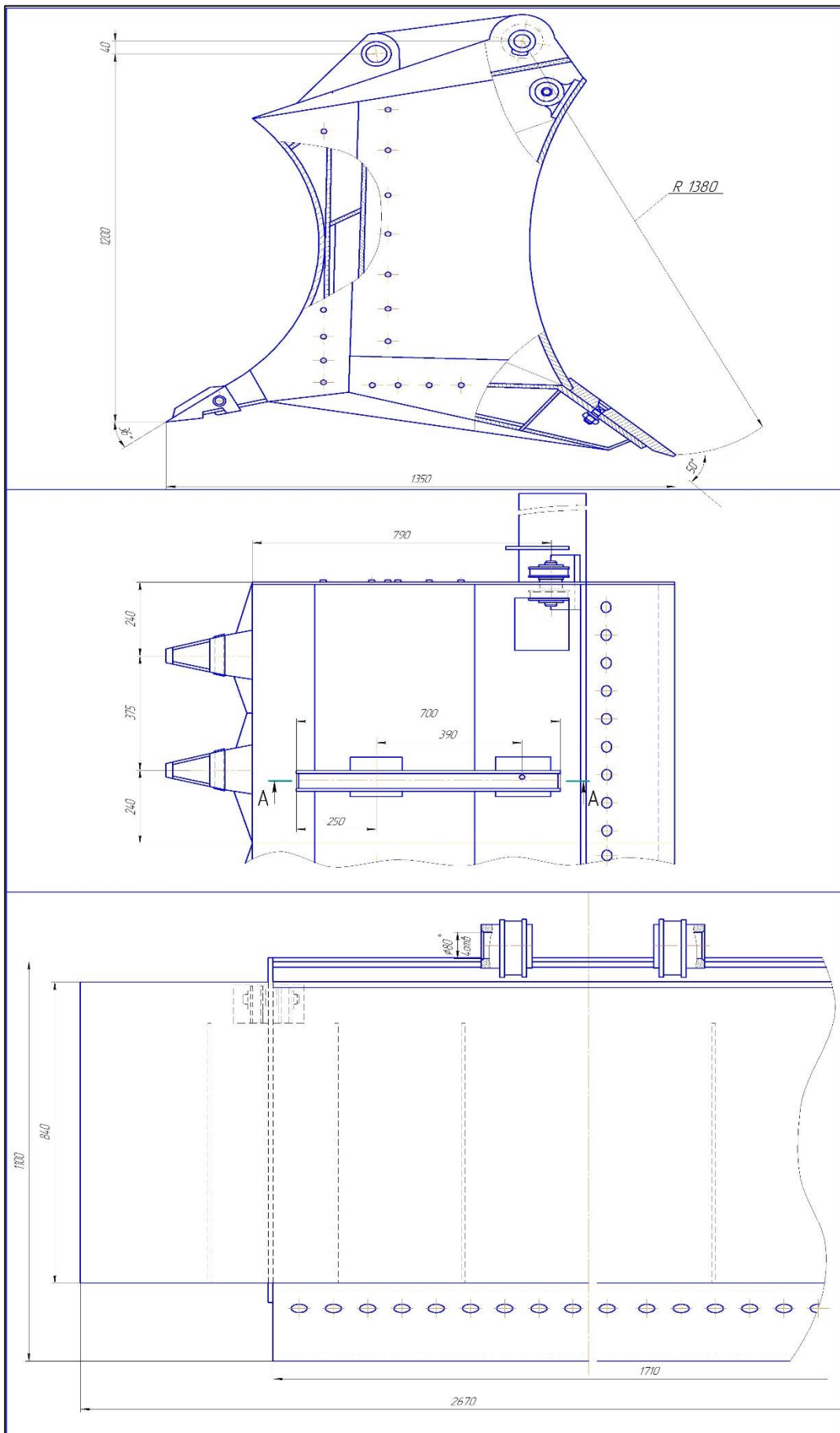


Рисунок. 3.7 – Ковш, оснащенный отвалной поверхностью

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.041.00.00.000

Лист

52

3.3. Расчет рыхлительного элемента планировочного ковша

К основным параметрам рыхлителя относятся: максимальная глубина разработки грунта Н; ширина ; угол взаимодействия разрабатываемого грунта; расстояние от нижней точки рамы до опорной поверхности при максимальной глубине разработки грунта Н; задний угол въезда.

Определим вертикальную составляющую усилия разработки R_H определяют по горизонтальной составляющей R_r и углу взаимодействия:

$$R_H = R_r \operatorname{ctg}(\alpha + \varphi_1) = 442 \operatorname{ctg}(45^\circ + 55^\circ) = 80,36 \text{ Н} \quad (3.24)$$

где α - угол взаимодействия первой секции, град; $\alpha = 30^\circ - 45^\circ$;

φ_1 - угол трения грунта по материалу наконечника рыхлителя, ([3], табл. 3)
 $\varphi_1 = 55^\circ$

Горизонтальная составляющая усилия разрыхления равна:

$$R_r = h_1^2 \sigma_p = 0,48^2 \cdot 1920 = 442 \text{ кН}, \quad (3.25)$$

где h_1 - глубина зоны развала м, см. Рисунок. 2.1 ;

σ_p - предел прочности грунта при растяжении Н/м² , ([3], табл. 1)

Глубина развала определяется из зависимости:

$$h_1 = KH = 0,8 \cdot 0,6 = 0,48 \text{ м}, \quad (2.26)$$

где K - коэффициент расширения боковой части прорези, $K = 0,6-0,8$.

Угол взаимодействия с грунтом многосекционного рыхлителя.

Угол разработки грунта выбирают исходя из условий обеспечения прочности ножа рыхлителя и удовлетворительного заднего угла рыхления. Рекомендуется принимать с $\alpha = 30^\circ \div 45^\circ$, при заднем угле рыхления не менее $7^\circ \div 8^\circ$. В связи с выше сказанным принимаем следующий угол взаимодействия:

$$\alpha_1 = 36^\circ$$

Определение максимальной глубина разработки грунта многосекционным рыхлителем.

Рассматривая стандартную методику (ГОСТ 7425-71) [3] определения максимальной глубины рыхления и комбинируя ее под рыхлитель ковша планировщика, определяем, что оптимальная глубина разработки грунта h_{opt} не должна превышать критические показатели:

$$h_{\max} = 2,5 \dots 4,0 \text{ В}_{\text{ср}} = 0,5 \text{ м}$$

где $\text{В}_{\text{ср}}$ - средне арифметическая ширина рыхлителя.

Принимаем $h_{\max} = 0,5 \text{ м}$

Наименьшее значение максимальной глубины разработки грунта соответствует пластичным грунтам (глины, суглинки), а большие значения - хрупким грунтам (пески, супеси).

Зная максимально допустимую глубину резания, принимаем следующие конструктивные размеры многосекционного рыхлителя:

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		53

Реакции опор (усилия в стержнях) от силы T_{CI}^D :

Из условия равновесия:

$$\sum M_A = 0; \quad \sum M_E = 0; \quad \sum M_D = 0$$

$$\sum M_A = T_{CI}^D l_{14} - R_{DC} \cos \beta (l_1 - l_3) - R_{DC} \sin \beta \cdot l_{11} - R_{BE} \cos \gamma (l_1 - l_2) - R_{BE} \sin \gamma l_9 = 0 \quad (2.33)$$

$$82,5 \cdot 2,36 - R_{DC} 0,978 \beta (1,83 - 0,65) - R_{DC} 0,2 \cdot 0,19 - R_{BE} 0,9 (1,83 - 1,0) - R_{BE} 0,44 \cdot 1,46 = 0$$

$$194,7 - 0,96 R_{DC} - 1,39 R_{BE} = 0$$

$$\sum M_E = T_{CI}^D (l_2 + H) + R_{AB} \cos \alpha (l_1 - l_2) + R_{AB} \sin \alpha l_3 - R_{DC} \cos \beta (l_2 - l_3) + R_{DC} \sin \beta (l_9 - l_{11}) = 0 \quad (2.34)$$

$$82,5 (1,0 + 0,6) + R_{AB} 0,97 (1,83 - 1,0) + R_{AB} \sin \alpha l_3 - R_{DC} 0,978 (1,0 - 0,65) + R_{DC} 0,2 (0,39 - 0,19) = 0$$

$$-4,18 + 0,87 R_{AB} - 0,296 R_{DC} = 0$$

$$132 + 0,76 R_{AB} - 0,888 R_{DC} = 0$$

$$\sum M_D = T_{CI}^D (l_2 + H) + R_{AB} \cos \alpha (l_1 - l_3) + R_{AB} \sin \alpha l_{11} + R_{BE} \cos \gamma (l_2 - l_3) - R_{BE} \sin \gamma (l_9 - l_{11}) = 0 \quad (2.35)$$

$$82,5 (1,0 + 0,6) + R_{AB} 0,97 (1,83 - 0,65) + R_{AB} 0,23 \cdot 0,19 + R_{BE} 0,9 (1,0 - 0,65) - R_{BE} 0,44 (0,39 - 0,19) = 0$$

$$103,12 + 1,1 R_{AB} + 0,22 R_{BE} = 0$$

Решим систему из трех уравнений

$$\begin{cases} 194,7 - 0,96 R_{DC} - 1,39 R_{BE} = 0 (1) \\ 132 + 0,76 R_{AB} - 0,888 R_{DC} = 0 (2) \\ 103,12 + 1,1 R_{AB} + 0,22 R_{BE} = 0 (3) \end{cases}$$

Из 2-го $R_{DC} = \frac{132 + 0,76 R_{AB}}{0,888}$

Из 3-го $R_{BE} = -\frac{-103,12 + 1,1 R_{AB}}{0,22}$

Подставив в первое получим

$$194,7 - 0,96 \left(\frac{132 + 0,76 R_{AB}}{0,888} \right) + 1,39 \left(\frac{103,12 + 1,1 R_{AB}}{0,22} \right) = 0 \quad (2.36)$$

$$703,5 + 6,13 R_{AB} = 0 \quad R_{AB} = -114,7 \text{ Т.}$$

$$R_{DC} = \frac{132 - 0,76 \cdot 114,7}{0,888} = 50,46 \quad (\text{Т}); \quad (2.37)$$

$$R_{BE} = -\frac{-103,12 + 1,1 \cdot 114,7}{0,22} = 105,7 \quad (\text{Т}). \quad (2.38)$$

Реакции опор от силы P_B :

Из условия равновесия;

$$\sum M_A = 0; \quad \sum M_E = 0; \quad \sum M_D = 0$$

$$\sum M_A = -P_B l_{13} - R_{DC} \cos \beta (l_1 - l_3) - R_{DC} \sin \beta \cdot l_{11} - R_{BE} \cos \gamma (l_1 - l_2) - R_{BE} \sin \gamma l_9 = 0 \quad (2.41)$$

$$-17,4 \cdot 1,46 - R_{DC} 0,978 \beta (1,83 - 0,65) - R_{DC} 0,2 \cdot 0,19 - R_{BE} 0,9 (1,83 - 1,0) - R_{BE} 0,44 \cdot 1,46 = 0$$

$$-25,4 - 0,95 R_{DC} - 0,87 R_{BE} = 0$$

$$\sum M_E = -P_B (l_{13} + l_9) + R_{AB} \cos \alpha (l_1 - l_2) + R_{AB} \sin \alpha l_3 - R_{DC} \cos \beta (l_2 - l_3) + R_{DC} \sin \beta (l_9 - l_{11}) = 0 \quad (2.39)$$

$$-17,4 (1,46 + 0,39) + R_{AB} 0,97 (1,83 - 1,0) + R_{AB} \sin \alpha l_3 - R_{DC} 0,978 (1,0 - 0,65) + R_{DC} 0,2 (0,39 - 0,19) = 0$$

3.4 Расчет на прочность элементов рабочего оборудования экскаватора, оснащенного ковшом повышенной планировочной способности

Условия работы: стрела находится в крайнем нижнем положении. На стрелу действуют максимальные внешние нагрузки, находящиеся в продольно-вертикальной осевой плоскости: R_A - реакция шарнира стойки платформы на пяту стрелы; F_B - усилие действия рукояти на стрелу в шарнире B ; F_{uc} - усилия штоков гидроцилиндров стрелы; $F_{up.m}$ - максимальное усилие корпуса гидроцилиндра рукояти. Весом стрелы можно пренебречь, поскольку его влияние на напряженное состояние металлоконструкции из-за распределенного характера незначительно.

В данном расчете принимается допущение об отсутствии действия на металлоконструкцию стрелы боковых нагрузок и скручивающих моментов, хотя в реальных условиях действие этих факторов необходимо учитывать.

Исходные данные: $R_A = 99,71$ кН; $F_B = 323,92$ кН; $F_{uc} = 79,9774$ кН; $F_{up.m}$
 $= 284,955$ кН, $\rho = 2,337$ м; $l_c = 6,45$ м; $l_1 = 4,601$ м; $l_2 = 1,753$ м; $l_3 = 0,323$ м; $\alpha_1 = 86,56^\circ$;
 $\alpha_2 = 30,79^\circ$; $\alpha_3 = 19,44^\circ$; $\alpha_4 = 11,23^\circ$; $\alpha_5 = 11,92^\circ$; $\alpha_6 = 45,86^\circ$;

Под действием внешних нагрузок в сечениях стрелы возникает сложное напряженное состояние, обусловленное наличием нормальных напряжений растяжения (сжатия) и касательных напряжений сдвига. Первые возникают в результате действия осевых нагрузок и изгибающих моментов, а вторые - в результате действия поперечных сил.

Конструктивную схему стрелы выбираем по аналогии с прототипом. На основе принятой конструкции вычерчиваем расчетную схему стрелы с буквенным обозначением ее геометрических параметров и внешних нагрузок.

Расчет продольно-осевых сил. При левосторонней системе сил:

$$N_{AE} = -R_A \cdot \cos \alpha_1 = -99,71 \cdot \cos 86,58^\circ = -5,95 \text{ кН}$$

$$N_{EO} = R_A \cdot \cos(180^\circ - \alpha_7 - \alpha_6) + F_{uc} \cdot \cos(\alpha_3 + \alpha_6) =$$

$$= 99,71 \cdot \cos(180^\circ - 86,6^\circ - 45,86^\circ) + 79,9774 \cos(19,44^\circ + 45,86^\circ) = 4,015 + 33,4199 = 37,4349$$

кН

$$N_{OB} = N_{OE} + F_{up.m} \cos \alpha_4 = 37,4349 + 284,955 \cos 11,23^\circ = 316,93 \text{ кН}$$

Проверка: $N_{OB} - F_B \cos \alpha_5 = 0$;

$$316,93 - 323,92 \cos 11,92^\circ = 0,0053 \text{ кН}$$

Ошибка не превышает 0,04%.

Расчет поперечных сил. При левосторонней системе сил:

$$Q_{AE} = R_A \sin \alpha_1 = 99,71 \cdot \sin 36,58^\circ = 99,53 \text{ кН};$$

$$Q_{EO} = R_A \sin(180^\circ - \alpha_1 - \alpha_6) - F_{uc} \sin(\alpha_3 + \alpha_6) =$$

$$= 99,71 \sin(180^\circ - 86,58^\circ - 45,86^\circ) - 79,9774 \sin(19,44^\circ + 45,86^\circ) = 73,584 - 72,6601 = 0,9243 \text{ кН};$$

$$Q_{OB} = Q_{EO} - F_{up.m} \sin \alpha_4 = 0,9243 - 284,955 \sin 11,23^\circ = -66,9 \text{ кН}$$

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

Проверяем правильность расчета:

$$Q_{OB} + F_B \sin \alpha_5 = -66,9 + 323,92 \sin 11,92^\circ = 0,0042 \text{ кН.}$$

Погрешность расчета незначительна.

Рассчитываем моменты сил, действующих в сечениях стрелы:

$$M_A = 0$$

$$M_E = R_A \sin \alpha_1 \cdot \rho = 99,71 \sin 86,58^\circ \cdot 2,337 = 232,6 \text{ кН.м};$$

$$M_O = R_A \sin(180^\circ - \alpha_1 - \alpha_6)(\rho \cdot \cos \alpha_6 + l_2) + R_A \cos(180^\circ - \alpha_1 - \alpha_6) \cdot$$

$$\rho \sin \alpha_6 - F_{IC} \sin(\alpha_3 + \alpha_6) l_2 =$$

$$= 99,71 \sin(180^\circ - 86,58^\circ - 45,86^\circ) \cdot (2,337 \cos 45,86^\circ + 1,753) + 99,71 \cos(180^\circ - 86,58^\circ - 45,86^\circ) \times \\ \times 2,337 \sin 45,86^\circ - 79,9774 \sin(19,44^\circ + 45,86^\circ) 1,7529 = 128,113 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

Момент справа:

$$M_O = F_B \sin \alpha_5 (\ell_1 - \ell_2) = 232,92 \sin 11,92^\circ (4,6007 - 1,7529) = 190,53 \text{ кН} \cdot \text{м};$$

$$M_B = 0.$$

По результатам расчетов строим эпюры продольно-осевых, поперечных сил и изгибающих моментов.

Эпюры свидетельствуют о том, что наиболее опасными по сочетанию нагрузок являются сечения **E** и **O**.

Условие прочности по нормальным напряжениям для сечения **E**:

$$\sigma_{сж} = \frac{N_{AE}}{F_E} + \frac{M_E}{W_Z} \leq [\sigma_{сж}] \quad (2.47)$$

$$\sigma_p = \frac{N_{EO}}{F_E} + \frac{M_E}{W_Z} \leq [\sigma_p] \quad (2.48)$$

где F_E - площадь поперечного сечения **E**;

W_Z - момент сопротивления сечения **E**.

По касательным напряжениям наиболее опасным является сечение **E**. В этом случае условие прочности определяется по формуле Журавского:

$$\tau = \frac{Q_{AE} S_{(y)}}{b \cdot J_Z} \quad (2.49)$$

где $S_{(y)}$ - статический момент сечения **E**; b - ширина сечения;

J_Z - осевой момент инерции относительно оси рукояти **E**.

Для определения геометрических характеристик сечений необходимо разработать их конструкцию.

Современные конструкции моноблочных стрел выполнены сварными из листовой стали 10Г2С1, 10ХСНД, 15ХСНД, 14Г2 по ГОСТ 19282-73 [4]. Форма поперечных сечений показана на Рисунк. 3.9, 3.10.

Значения параметров сечения **E**: $b = 0,6$ м; $h = 0,8$ м; $b_l = 0,58$ м; $t = 0,016$ м; $t_l = 0,012$ м. Для сечения **O**: $b = 0,6$ м; $h = 0,6$ м; $b_l = 0,58$ м; $t = 0,016$ м; $t_l = 0,012$ м.

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		59

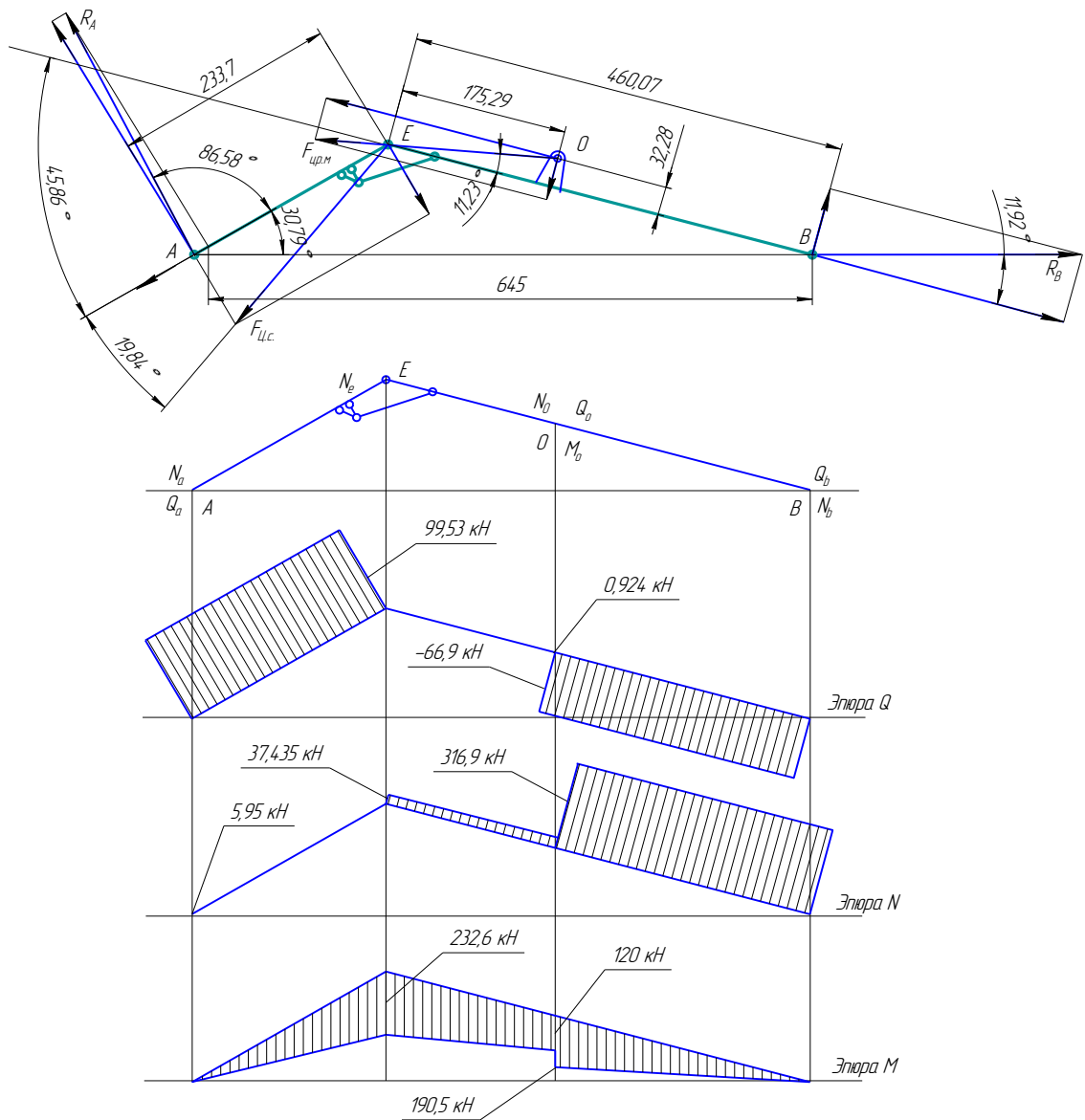


Рисунок. 3.11 – Конструктивная и расчетная схема. Эпюры N , Q и M

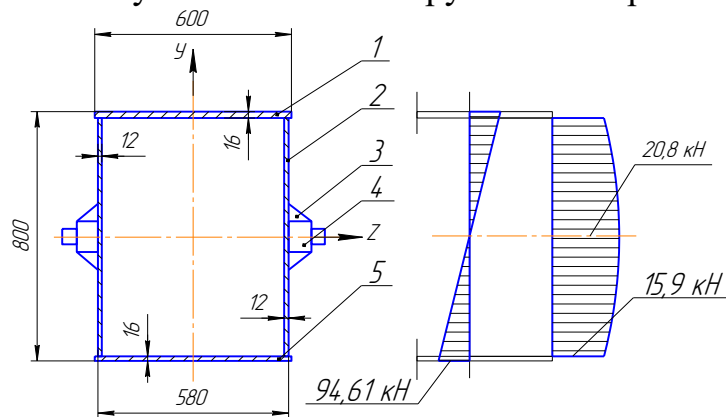


Рисунок. 3.12 – Схема сечения E и эпюры действующих напряжений: 1 - верхний пояс; 2 – стенка; 3 - косынка; 4 - цапфа; 5 - нижний пояс

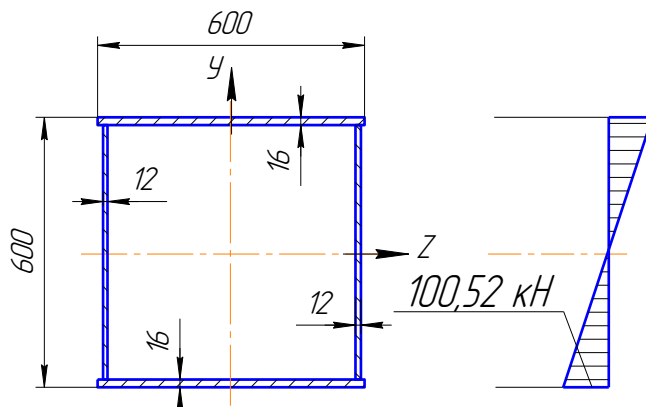


Рисунок 3.13 – Схема сечения O и эпюра нормальных напряжений

Площади сечений:

$$F_E = 2[t \cdot b + t_1(h - 2t)] = 2 \cdot [1,6 \cdot 60 + 1,2(80 - 2 \cdot 1,6)] = 345,5 \text{ см}^2;$$

$$F_O = 2[t \cdot b + t_1(h - 2t)] = 2 \cdot [1,6 \cdot 60 + 1,2(60 - 2 \cdot 1,6)] = 328,32 \text{ см}^2.$$

Статические моменты сечений:

$$S_{ZE} = 2t \cdot b \left(\frac{h}{2} - \frac{t}{2} \right) - \frac{t_1(h - 2t)^2}{3} = 2 \cdot 1,6 \cdot 60 \cdot \left(\frac{80}{2} - \frac{1,6}{2} \right) + \frac{1,2(80 - 2 \cdot 1,6)^2}{3} = 9885,66 \text{ см}^2$$

$$S_{ZO} = 2t \cdot b \left(\frac{h}{2} - \frac{t}{2} \right) - \frac{t_1(h - 2t)^2}{3} = 2 \cdot 1,6 \cdot 60 \cdot \left(\frac{60}{2} - \frac{1,6}{2} \right) + \frac{1,2(60 - 2 \cdot 1,6)^2}{3} = 6896,89 \text{ см}^2$$

Моменты инерции рассчитываемых сечений:

$$J_{ZE} = 2J_{ZE}^c + 2[J_{Z,E}^n + F_E^n \cdot \left(\frac{h_E}{2} - \frac{t_E}{2} \right)];$$

(2.50)

$$J_{ZO} = 2J_{ZO}^c + 2[J_{Z,O}^n + F_O^n \cdot \left(\frac{h_O}{2} - \frac{t_O}{2} \right)];$$

(2.51)

где J_{ZE}^c , J_{ZO}^c - моменты инерции стенок относительно оси Z :

$$J_{ZE}^c = \frac{t_1(h_E - 2t)^3}{12} = \frac{1,2(80 - 2 \cdot 1,6)^3}{12} = 45298,48 \text{ см}^4;$$

$$J_{ZO}^c = \frac{t_1(h_O - 2t)^3}{12} = \frac{1,2(60 - 2 \cdot 1,6)^3}{12} = 18325,04 \text{ см}^4;$$

$J_{Z,E}^n$, $J_{Z,O}^n$ - моменты инерции относительно осей симметрии поясов Z :

$$J_{Z,E}^n = \frac{b \cdot t^3}{12} = \frac{60 \cdot 1,6^3}{12} = 20,48 \text{ см}^4;$$

$$J_{Z,O}^n = J_{Z,E}^n = 20,48 \text{ см}^4;$$

F_E^n , F_O^n - площади поперечных сечений поясов:

$$F_E^n = F_O^n = t \cdot b = 1,6 \cdot 60 = 96 \text{ см}^2$$

Тогда: $J_{ZE} = 2 \cdot 45298,48 + 2 \cdot [20,48 + 96 \cdot \left(\frac{80}{2} - \frac{1,6}{2} \right)] = 98164,32 \text{ см}^4;$

$$J_{ZO} = 2 \cdot 18325,04 + 2 \cdot [20,48 + 96 \cdot \left(\frac{60}{2} - \frac{1,6}{2} \right)] = 42297,44 \text{ см}^4.$$

Нормальные напряжения в крайних сжатых волокнах сечения:

$$\sigma_{сж}^E = \frac{N_{AE}}{F_E} + \frac{M_E \cdot h}{2J_{ZE}} = \frac{5,95 \cdot 10^{-3}}{345,5 \cdot 10^{-4}} + \frac{232,6 \cdot 10^{-3} \cdot 80 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 98164,32 \cdot 10^{-8}} = 94,61 \text{ МПа.}$$

По аналогии нормальные напряжения растяжения в сечении **O**.

$$\sigma_p^O = \frac{N_{EO}}{F_E} + \frac{M_O \cdot h_O}{2 \cdot J_{ZO}} = \frac{316,93 \cdot 10^{-3}}{328,32 \cdot 10^{-4}} + \frac{128,113 \cdot 10^{-3} \cdot 60 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 42297,44 \cdot 10^{-3}} = 100,52 \text{ МПа.}$$

Принимая для стрелы материал сталь 10Г2С1, имеющую $[\sigma_T] = 250$ МПа, видим, что геометрические параметры сечений при действующих нагрузках удовлетворяют условиям прочности.

Проверяем условие прочности по касательным напряжениям в сечении **E**. Для этого строим эпюру касательных напряжений по высоте сечения.

На поверхностях поясов $\tau_E = 0$.

На внутренних поверхностях поясов:

$$\tau^n = \frac{Q_{AE} \cdot S_Z^n}{b \cdot J_{ZE}} = \frac{Q_{AE} \cdot t \cdot b \left(\frac{h_E}{2} - \frac{t}{2} \right)}{b \cdot J_{ZE}} = \frac{99,53 \cdot 10^{-3} \cdot 1,6 \cdot 60 \left(\frac{80}{2} - \frac{1,6}{2} \right) \cdot 10^{-6}}{60 \cdot 10^{-2} \cdot 98164,32 \cdot 10^{-8}} = 0,636 \text{ МПа.}$$

На поверхностях стенок, примыкающих к поясам:

$$\tau^c = \frac{Q_{AE} \cdot S_Z^n}{2t_1 \cdot J_{ZE}} = \frac{Q_{AE} \cdot t \cdot b \cdot \left(\frac{h_E}{2} - \frac{t}{2} \right)}{2t_1 \cdot J_{ZE}} = \frac{99,53 \cdot 10^{-3} \cdot 1,6 \cdot 60 \left(\frac{80}{2} - \frac{1,6}{2} \right) \cdot 10^{-6}}{2 \cdot 1,2 \cdot 98164,32 \cdot 10^{-10}} = 15,9 \text{ МПа.}$$

На уровне нейтрального слоя **Z**:

$$\tau^n = \frac{Q_{AE} \cdot S_{ZE}}{2 \cdot 2t_1 \cdot J_{ZE}} = \frac{99,53 \cdot 9885,66 \cdot 10^{-9}}{4 \cdot 1,2 \cdot 98164,32 \cdot 10^{-10}} = 20,88 \text{ МПа.}$$

Для выбранной стали $[\tau] = 160$ МПа. Следовательно, условие прочности по касательным напряжениям выполнено с существенным запасом.

Вывод по разделу. Произведенные расчеты показывают, что выбранные параметры РО обеспечивают его работоспособность и удовлетворяют условиям прочности при воздействии учтенных внешних нагрузок. Имеющийся запас прочности может компенсировать действие неучтенных нагрузок (боковых сил, окручивающих моментов, динамических нагрузок и др.).

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		62

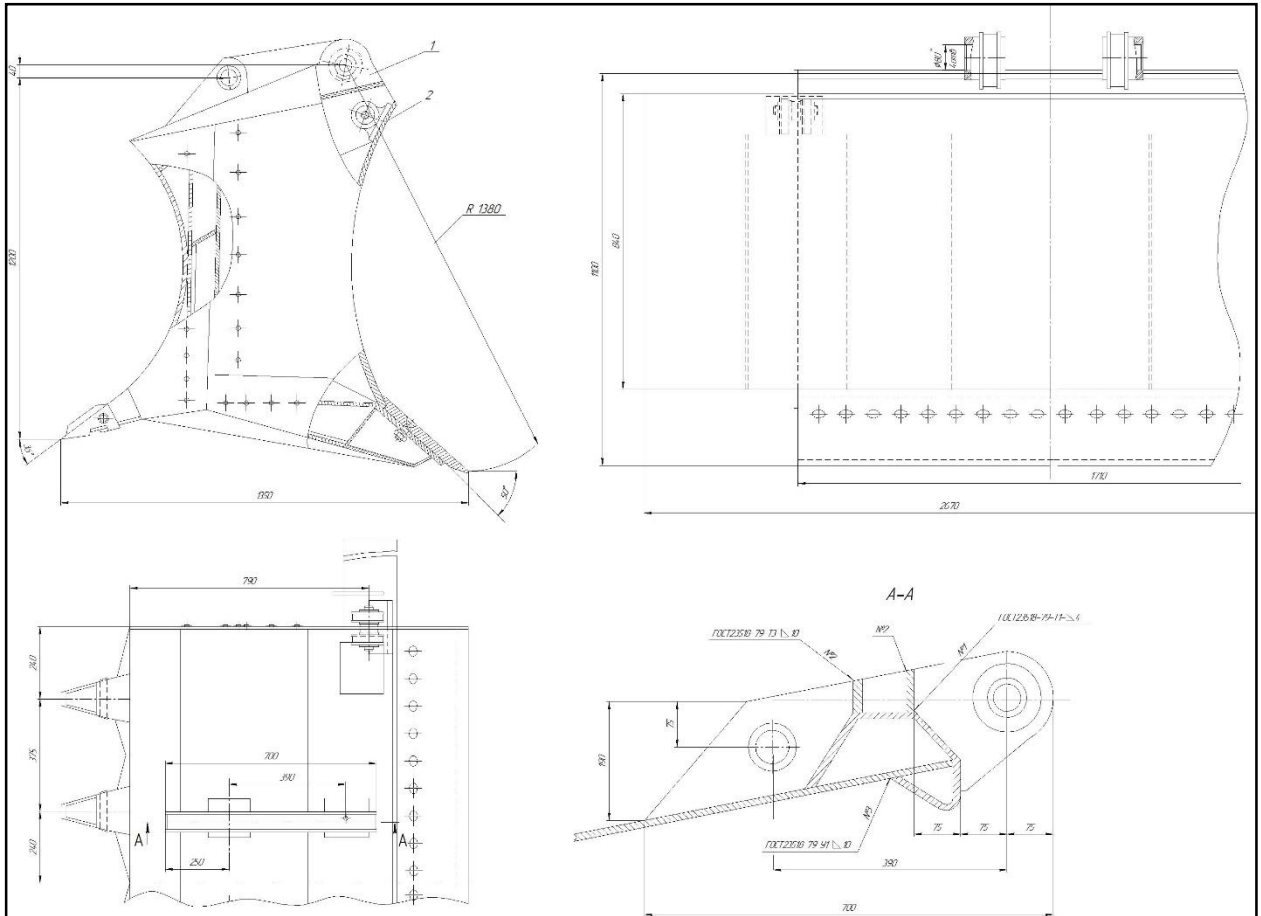


Рисунок 3.13 – планировочный ковш, общий вид

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		63

4 ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ВАЛА

4.1 Выбор заготовки

При выборе заготовки, будем руководствоваться следующими положениями: материалом, из которого изготавливается деталь; конфигурацией детали; размерами заготовки, качеством поверхностного слоя и массой, а также коэффициентом используемого материала.

Материалом для изготовления вала принята сталь 40 (ГОСТ 1050 - 80) [5]. Поверхность детали составляют простые цилиндрические поверхности, которые получают в результате механической обработки резанием.

В качестве заготовки для изготовления детали принимает круглый прокат диаметром 195 мм (по наибольшему диаметру детали).

190 ГОСТ 2590-71

Заготовка: Круг 40 ГОСТ 1050-80 .

Длину заготовки берем больше длины детали на величину припуска под обработку торцевых поверхностей $l_3 = 745$ мм.

4.2 Выбор схемы базирования

Основными базами подавляющего большинства валов являются поверхности его опорных шеек либо другие посадочные места. Однако использовать их в качестве технологических баз для обработки наружных поверхностей, как правило, затруднительно.

При выборе технологических баз следует совмещать конструкторскую, технологическую и измерительную базы, т.е. применить принцип единства по ГОСТ 21495-76 [6]. Необходимо также стремиться к использованию одной и той же базы. Исходя из этого, для обработки вала в технологических операциях принимаем схему базирования, изображенную на рисунке. 4.1. Учитывая большую длину обрабатываемой заготовки для исключения ее прогиба в процессе обработки необходимо использовать промежуточную опору, которая уменьшает пролет между соседними опорами и повышает жесткость обрабатываемой заготовки.

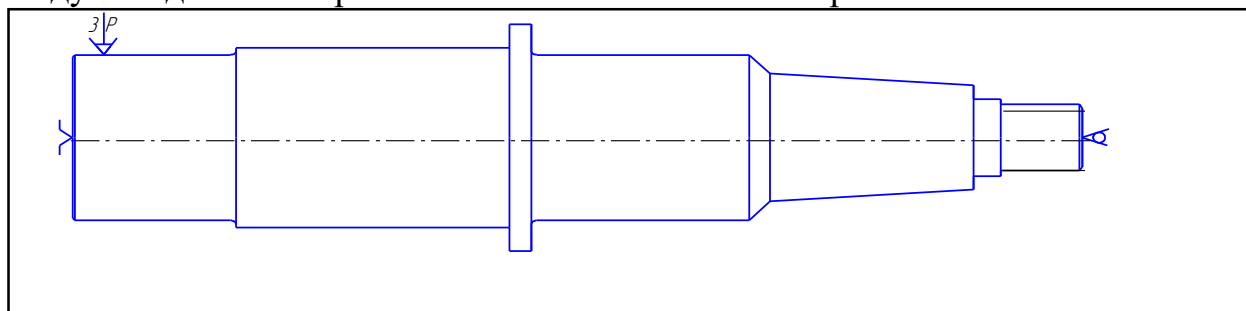


Рисунок 4.1 – Схема закрепления в патроне

Для осуществления выбранной схемы базирования в качестве приспособления принимаем патрон трехкулачковый самоцентрирующийся ГОСТ 24351-80 [7] центр упорный ГОСТ 2576-79 [8]. При обработке конической поверхности упорный центр смещаем на величину, определяющую необходимую конусность поверхности.

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		64

Для операций по нарезке шпоночных пазов базирование будет осуществляться по уже обработанным поверхностям. Схема закрепления в этом случае приведена на рисунке 4.2.

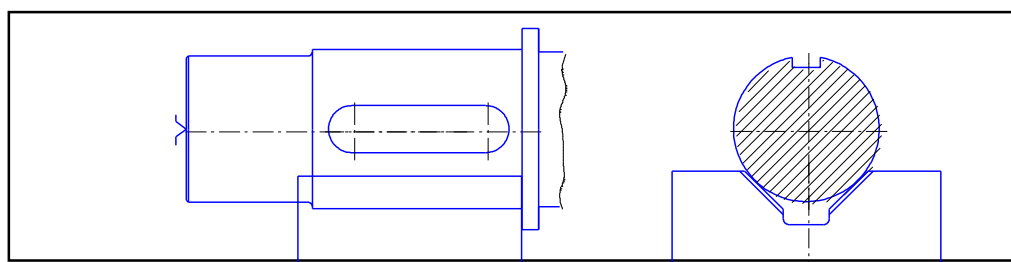


Рисунок 4.2 – схема закрепления на призме

Для осуществления выбранной схемы закрепления принимаем в качестве приспособления призмы опорные ГОСТ 12197 – 66 [9].

4.3 Разработка маршрутного процесса обработки вала

Исходя из геометрических размеров детали, разбиваем ее на элементарные поверхности, каждой из которых присваивается номер (рисунок 4.3) и назначаются способы обработки в зависимости от требуемой точности поверхности (табл.4.1).

Таблица 4.1 – Виды обработки поверхностей детали

Номер поверхности	Параметры детали		Технологические переходы		
	Точность	Шероховатость	Наименование перехода	Точность	Шероховатость
1	2	3	4	5	6
1, 4(Ø140)	к6	1,6	Черновое точение Получистовое точение Чистовое точение Шлифование	h14 h12 h8 к6	6,3 3,2 2,5 1,6
2 (Ø150)	h8	1,25	Черновое точение Получистовое точение Чистовое точение Шлифование	h14 h12 h8 h8	6,3 3,2 2,5 1,25
3 (Ø192)	h12	6,3	Черновое точение	h12	6,3
5	h12	6,3	Черновое точение	h12	6,3
6 (конус)	h12	6,3	Черновое точение	h12	6,3

Продолжение таблицы 4.1

7 (Ø 66)	h12	6,3	Черновое точение	h12	6,3
8 (M56)		3,2	Черновое точение	h12	6,3
			Резобонарезание		3,2
11, 12 (шпонка)	D9	3,2	Фрезерование	D9	3,2

Для осуществления выбранной схемы закрепления принимаем в качестве приспособления призмы опорные ГОСТ 12197 – 66 [9].

Назначаем технологические переходы обработки детали:

Установ А. Закрепить заготовку

- 1) Подрезать торец 10
- 2) Точить поверхность 2 и 3 до Ø 150 по длине 320 мм.
- 3) Точить поверхность 2 до Ø 140 по длине 120 мм.

Установ Б Перезакрепить заготовку.

- 4) Подрезать торец 9.
- 5) Точить поверхность 3 до Ø 192 по длине 414 мм.
- 6) Точить поверхность 4 до Ø 140 по длине 404 мм.
- 7) Точить фаску 5.
- 8) Точить поверхность 6 до Ø 108 по длине 169 мм.
- 9) Точить поверхности 7 и 8 до Ø 66 на длину 80 мм.
- 10) Точить поверхность 8 до Ø 57 по длине 60 мм.
- 11) Нарезать резьбу M56 на поверхности 8 на длине 60 мм.

Установ В Переустановить заготовку.

- 12) Точить конусную поверхность 6.

Перезакрепить заготовку

- 13) Фрезеровать шпоночный паз 12 на поверхности 2.
- 14) Фрезеровать шпоночный паз 11 на поверхности 6.

Переустановить деталь.

- 15) Шлифовать поверхности 1 и 4 до шероховатости 1,6.
- 16) Шлифовать поверхность 2 до шероховатости 1,25.

Предварительно назначаем технологический маршрут обработки детали.

001 Заготовительная

005 Токарная

010 Фрезерная

015 Термическая

020 Шлифовальная

025 Контрольная

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66

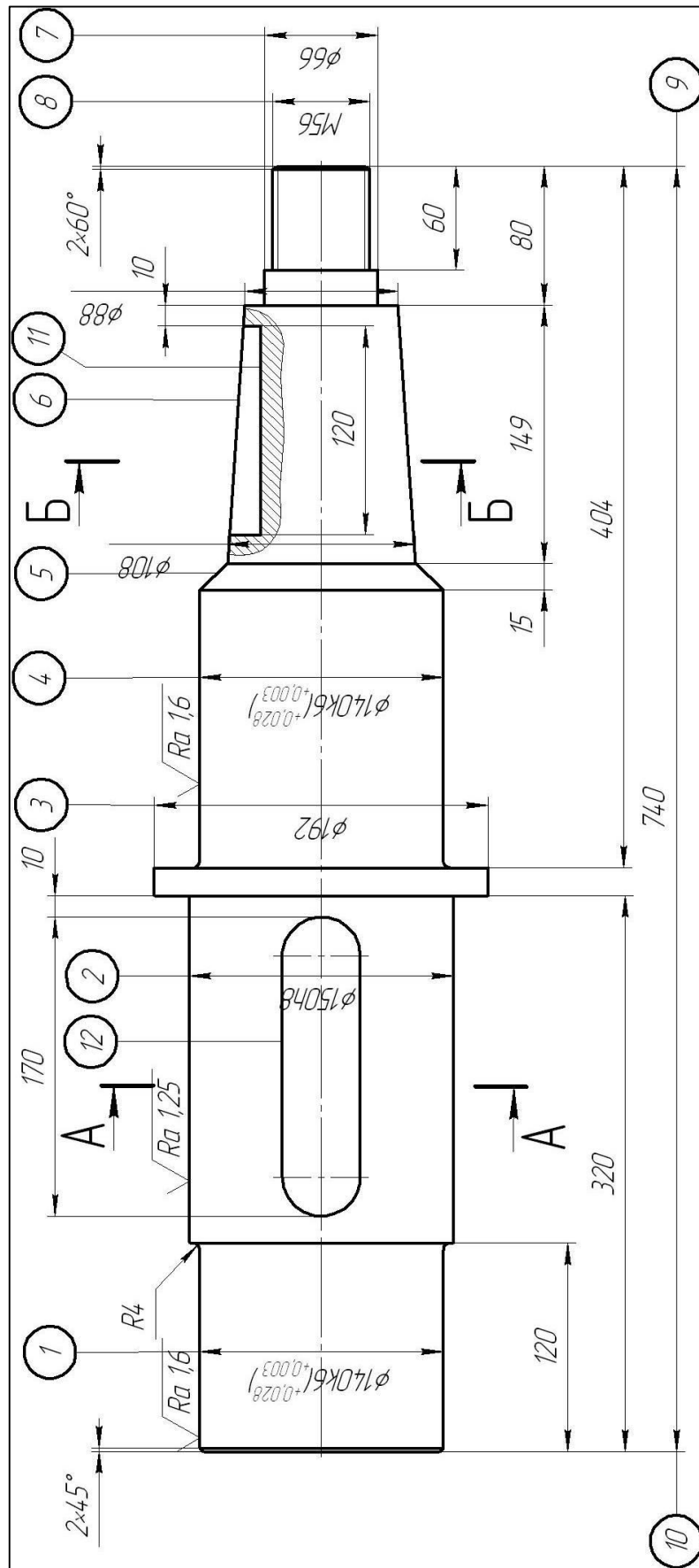


Рисунок 4.3 – Эскиз вала

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.041.00.00.000

Лист

67

4.4 Разработка операционного технологического процесса

• Выбор технологического оборудования

Выбор оборудования производится с учетом разработанного маршрута технологического процесса обработки детали.

Для токарной операции 005 применяем станок токарно-винторезный 16Б04А со следующими параметрами:

Наибольший диаметр обрабатываемой заготовки:

под станиной	200;
под суппортом	115;
Наименьшая длина обрабатываемой детали, мм	350;
Шаг нарезаемой метрической резьбы, мм	0,5 – 112;
Частота вращения шпинделя, об/мин	320-3200;
Число скоростей шпинделя	22;
Подача суппорта, мм/об	
продольная	0,01 – 0,175;
поперечная	0,005 – 0,09;
Мощность электродвигателя главного привода, кВт	1,1;
Габаритные размеры, мм	
длина	2505 – 3795;
ширина	1190;
высота	1500.

Для операции 010 фрезерной выбираем станок вертикально-фрезерный 6Т104 со следующими параметрами:

Размеры рабочей поверхности стола, мм	160x630;
Частота вращения шпинделя об/мин	63-2800;
Подача продольная и поперечная, мм/мин	11,2-500;
Мощность электродвигателя привода	
главного движения, кВт	2,2;
Габаритные размеры:	
длина	1250;
ширина	1205;
высота	1630.

Для шлифовальной операции выбираем круглошлифовальный станок 3Т160 со следующими параметрами:

Наибольшие размеры устанавливаемой заготовки, мм;	
диаметр	280;
длина	700;
Рекомендуемый наружный диаметр шлифования, мм	20-280;
Наибольшая длина наружного шлифования, мм	130;
Частота вращения шпинделя заготовки, об/мин	55-1000;
Наибольшие размеры шлифовального круга, мм:	
наружный диаметр	750;

высота	130;
Частота вращения шпинделя шлифовального круга при наружном шлифовании, об/мин	1250;
Мощность электродвигателя привода главного движения, кВт	17;
Габаритные размеры, мм	
длина	3754;
ширина	4675;
высота	2245.

- Выбор приспособлений.

На основании разработанного технологического процесса обработки вала целесообразно применить для точения поверхностей, а также подрезание торцов на токарно-винторезном станке принимаем патрон трехкулачковый сомоцентрирующийся ГОСТ 24351-80 [7] центр упорный ГОСТ 2576-79 [8]. Такие же приспособления принимаем при шлифовальной обработке шеек вала.

Для фрезерных операций применяет призму опорную по ГОСТ 12197-66 [9].

- Выбор режущего инструмента.

Для обработки поверхностей детали в условиях серийного производства целесообразно применять стандартизованные и нормативные инструменты. Для заданных условий производства принимаем наиболее универсальный инструмент. Эскизы выбранного инструмента с основными геометрическими размерами приведены в табл. 4.2.

- Выбор измерительного инструмента.

Тип и характеристики измерительных приборов и инструментов выбираем исходя из формы, точности размеров, технических требований к деталям.

Для измерения и контролирования размеров вала применяем на промежуточных штангенциркуль операциях ШЦ-I-125-0,1 ГОСТ 166-80 [10]. Для контроля на окончательных операциях с большей точностью выбираем штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-80 [10].

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		69

Таблица 4.2 – Необходимый режущий инструмент

Наименование инструмента	Эскиз инструмента	Материал режущей части
Резец токарный проходной отогнутый с пластинами из быстрорежущей стали (по ГОСТ 18879 - 73)		P6M5
Резец токарный проходной отогнутый с пластинами из твердого сплава (по ГОСТ 18879 - 73)		T15K6
Круг шлифовальный прямого профиля ПП300×50×70 ГОСТ 4785 - 64		24A30CM17 K5
Фреза шпоночная ГОСТ 9140 - 78		T15K6
Фреза шпоночная ГОСТ 9140 - 78		T15K6

4.5 Расчет режимов резания

Определяем скорость резания для токарной обработки по формуле:

$$V = \frac{C_v}{T^m \cdot t^x \cdot S^y} \cdot K_v, \quad (4.1)$$

где $C_v=35,0$; $x=0,15$; $y=0,35$; $m=0,2$ (по таблице 4.17 [9]);

T – период стойкости инструмента, $T=180$ мин.;

S – подача резца, $S=0,4$ мм/об.;

t – глубина резания за проход, $t=2,5$ мм;

K_v – коэффициент, учитывающий свойства материала резца:

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{uv} = 1,62 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 1,62,$$

$$K_{mv} = K_{\Gamma} \left(\frac{750}{G_B} \right)^{n_v} = 1,0 \left(\frac{750}{570} \right)^{1,75} = 1,62$$

где ,

$K_{\Gamma}=1,0$; $n_v=1,75$; $G_B=570$ МПа.

$K_{pv}=1,0$ (по таблице 4.5 [9]);

$K_{uv}=1,0$ (по таблице 4.6 [9]).

$$V = \frac{35 \cdot 1,62}{180^{0,2} \cdot 2,5^{0,15} \cdot 0,4^{0,35}} = 30,03 \text{ м/мин.}$$

Частота вращения заготовки

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 30,03}{\pi \cdot 150} = 53,6 \text{ об/мин.}$$

где D – наибольший диаметр обрабатываемой заготовки.

Принимаем обороты станка $n=180$ об./мин., тогда

$$V = \frac{n \cdot \pi \cdot D}{1000} = \frac{\pi \cdot 180 \cdot 150}{1000} = 39,6 \text{ м/мин.}$$

Определяем силу резания:

$$P_z = 10 C_p \cdot t^x \cdot S^y \cdot V^n \cdot K_p, \quad (4.2)$$

где по [9] из таблиц: $C_p=300$; $x=1,0$; $y=0,75$; $n=-0,15$;

K_p – коэффициент силы, зависящий от свойств материала резца:

$$K_p = K_{mp} \cdot K_{\phi p} \cdot K_{\eta p} \cdot K_{\lambda p} \cdot K_{rp} = 0,82 \cdot 1,0 \cdot 1,1 \cdot 1,0 = 0,9,$$

где $K_{mp}=0,82$; $K_{\phi p}=1,08$; $K_{\eta p}=1,0$; $K_{\lambda p}=1,0$; $K_{rp}=0,87$ (по таблицам /9/).

Тогда $P_z = 10 \cdot 300 \cdot 2,5^{1,0} \cdot 0,4^{0,75} \cdot 33,9^{-0,15} \cdot 0,9 = 2024$ Н.

Мощность резания

$$N = \frac{P_z \cdot V}{1020 \cdot 60} = \frac{2024 \cdot 39,6}{1020 \cdot 60} = 1,13 \text{ кВт} \quad (4.3)$$

010 Фрезерная

Скорость резания:

$$V = \frac{C_v \cdot D^g}{T^m \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z^p} \cdot K_v, \quad (4.4)$$

где значения всех коэффициентов выбираются по таблицам [9]: $C_v=12$; $g=0,3$; $x=0,3$; $y=0,25$; $u=0$; $p=0$; $m=0,26$;

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		71

T – период стойкости фрезы, $T=80$ мин.;

D – диаметр фрезы, $D=35,7$ мм;

B – ширина фрезерования, $B=36$ мм;

S_z – подача; при осевом врезании на глубину шпоночного паза $S_z=0,008$ мм, при продольном движении при фрезеровании шпоночного паза $S_z=0,02$ мм;

K_v – коэффициент скорости при фрезеровании, зависящий от материала инструмента,

$$K_v = K_{mv} \cdot K_{pv} \cdot K_{uv} = 1,36 \cdot 1 \cdot 1 = 1,36,$$

$$K_{mv} = K_{\Gamma} \left(\frac{750}{G_B} \right)^{n_v} = 1,0 \cdot \left(\frac{750}{550} \right)^1 = 1,36$$

где

$K_{\Gamma} = 1,0$; $n_v = 1,0$; $G_B = 550$ МПа;

$K_{pv}=0,8$; $K_{uv}=0,8$.

Скорость при осевом врезании на глубину шпоночного паза:

$$V = \frac{12 \cdot 35,7^{0,3}}{80^{0,26} \cdot 2,5^{0,3} \cdot 0,008^{0,25} \cdot 36^0 \cdot 2^0} \cdot 1,36 = 42,7 \text{ м/мин.}$$

Скорость резания при продольном движении на длину шпоночного паза:

$$V = \frac{12 \cdot 35,7^{0,3}}{80^{0,26} \cdot 2,5^{0,3} \cdot 0,02^{0,25} \cdot 36^0 \cdot 2^0} \cdot 1,36 = 38,06 \text{ м/мин.}$$

Частота вращения фрезы:

при осевом врезании на глубину шпоночного паза

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 42,7}{\pi \cdot 35,7} = 600 \text{ об/мин.};$$

при резании на длину шпоночного паза

$$n = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 38,06}{\pi \cdot 35,7} = 500 \text{ об/мин.};$$

Определяем силу резания:

$$P_z = \frac{10 C_p \cdot t^x \cdot S_z^y \cdot B^u \cdot Z}{D^g \cdot n^w} \cdot K_{mp} \quad (4.5)$$

где значения всех коэффициентов выбираем из таблиц [9]: $C_p = 12,5$; $x = 0,85$; $y = 0,75$; $u = 1,0$; $g = 0,73$; $w = -0,13$.

K_{mp} – поправочный коэффициент на качество обрабатываемого материала,

$$K_{mp} = \left(\frac{G_B}{750} \right)^n = \left(\frac{550}{750} \right)^{0,3} = 0,91$$

$G_B=780$ МПа, $n=0,3$.

Сила резания при осевом врезании:

$$P_z = \frac{10 \cdot 12,5 \cdot 2,5^{0,85} \cdot 0,008^{0,75} \cdot 36^1 \cdot 2}{36^{0,73} \cdot 600^{-0,13}} \cdot 0,91 = 54,1 \text{ Н.}$$

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		72

В единичном и серийном производстве определяется норма штучно-калькуляционного времени

$$t_{ш-к} = t_{ш} + t_{пз} / n , \quad (4.9)$$

где $t_{ш}$ – штучное время, мин.;

$t_{пз}$ – подготовительно-заключительное время (только для серийного производства), мин.;

n – количество заготовок в партии.

Штучное время

$$t_{ш} = t_{оп} + t_{обсл} + t_{отд} , \quad (4.10)$$

где $t_{оп}$ – оперативное время, мин.;

$t_{обсл}$ – время обслуживания рабочего места, мин.;

$t_{отд}$ – время отдыха (принимается за смену около 2% ее продолжительности, для одной детали можно принимать 5% от $t_{оп}$), мин.

Оперативное время

$$t_{оп} = t_0 + t_в , \quad (4.11)$$

где t_0 – основное время, мин.;

$t_в$ – вспомогательное время, мин.

Вспомогательное время на каждый переход принимаем ориентировочно в пределах 2-5 мин. в зависимости от сложности выполняемой операции.

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		74

005 Токарная

Основное время рассчитывается по режимам обработки

$$t_o = \frac{li}{nS_o} = \frac{760 \cdot 2}{180 \cdot 0,4} = 21,1 \text{ мин}$$

где l - расчетная длина рабочего хода инструмента, мм;

i – количество проходов.

Вспомогательное время на каждый переход принимает 0,8 мин.

Таким образом, общее оперативное время составит

$$t_{оп} = 21,1 + 0,8 \cdot 12 = 30,7 \text{ мин.}$$

Основное время для переходов фрезерной операции определится из выражения

$$t_o = \frac{li}{S_z z n_\phi}, \quad (4.12)$$

При нарезании шпоночного паза эта величина составит

$$t_o = \frac{170}{0,02 \cdot 3 \cdot 1200} = 2,36 \text{ мин.}$$

на каждый паз.

Вспомогательное время на каждый переход примем в среднем 1,1 мин.

Учитывая количество пазов и канавок, а также количество переходов, общее оперативное время составит

$$t_{оп} = 2,36 \cdot 2 + 1,1 \cdot 2 = 6,92 \text{ мин.}$$

Для операции шлифования основное время находим из выражения

$$t_o = \frac{L_{ст} i}{n S_{пр} S_{поп}} K, \quad (4.13)$$

где $L_{ст}$ - длина хода стола станка, мм;

$S_{пр}$ - продольная подача, мм/об;

$S_{поп}$ - поперечная подача круга за один рабочий ход, мм/раб. ход,

$K = 1,1$.

После подстановки основное время составит 0,7 мин.

Вспомогательное время каждого перехода принимаем 0,75 мин.

Таким образом, оперативное время операции составит

$$t_{оп} = 0,7 \cdot 2 + 0,75 \cdot 2 = 2,9 \text{ мин.}$$

Общее время обработки детали без учета термообработки составит

$$t_{оп} = 30,7 + 6,9 + 2,9 = 40,5 \text{ мин.}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате работы была проведена модернизация рабочего органа одноковшового экскаватора ЭО-4224.

Были выполнены следующие задачи:

- 1) Проведен конструкционный анализ подобных модернизаций РО землеройных машин. Приведены достоинства и недостатки конструкций.
- 2) Выполнен общий расчет экскаватора, оснащенного ковшом повышенной планировочной способности.
- 3) Разработан рабочий орган для планировочных работ.

Данная модернизация позволила повысить технологическую способность экскаватора путем расширения функциональности рабочего органа экскаватора за счет добавления возможности совершения планировочных работ.

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		76

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 ГОСТ 12536-2014 Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. Издан «Стандартинорм» в 2015 г. 23 страницы.

2 ГОСТ 17383-73 Шкивы для плоских приводных ремней. Технические условия. Издан «Издательством стандартов» в 1974 г. 29 страниц.

3 ГОСТ 7425-71 Рыхлители гусеничные. Технические условия. Издан «госстандарт СССР» в 1971 г. 6 страниц.

4 ГОСТ 19282-73 сталь низколегированная толстолистовая и широкополосная. универсальная. Издан «Издательство стандартов» в 1987 г. 11 страниц.

5 ГОСТ 1050-88 Прокат сортовой, калиброванный со специальной отделкой поверхности из углеродистой качественной конструкционной стали. Издан «Издательство стандартов» в 1989 г. 23 страницы.

6 ГОСТ 21495-76. Базирование и базы в машиностроении. Термины и определения (с Изменением N 1). Издан «Издательство стандартов» в 1982 г. 30 страниц.

7 ГОСТ 24351-80 государственный стандарт СССР. патроны токарные самоцентрирующие трех- и двухкулачковые клиновые и рычажно-клиновые. Издан «Издательство стандартов» в 1988 г. 11 страниц.

8 ГОСТ 2576-79. Полуцентры упорные. Конструкция (с Изменениями N 1, 2). Издан «Издательство стандартов» в 1979 г. 4 страницы.

9 ГОСТ 12197-66. Приспособления станочные. Призмы с боковым креплением. Конструкция (с Изменениями N 1, 2). Издан Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР в 1967. 6 страниц.

10 ГОСТ 166-80 Штангенциркули. Технические условия. Издан «Издательство стандартов» в 1989 г. 11 страниц.

11 Расчеты грузоподъемных и транспортирующих машин / Иванченко, Ф.К. Киев: Изд-во «Высшая школа», 1978. - 592 с.

12 Вайсон, А.А. Подъемно-транспортные машины строительной промышленности. Атлас конструкций. Изд. 2-е, перераб. и доп. (Учеб. пособие для вузов спец. «Строительные и дорожные машины и оборудование»)/ Вайсон, А.А., - М.: Машиностроение, 1976. - 152 с.

13 Шемякин, С. А. , Лещинский, А. В. Расчет землеройных машин / Шемякин, С. А. , Лещинский, - Хабаровск Издательство ТОГУ 2014. - 60 с. С ил.

14 Подъемно-транспортные машины. Атлас конструкций: Учеб. пособие для студентов вузов - 2-е изд., перераб. и доп./ М.П. Александров, Д.Н. Решетов, Б.А. Байков, и др.; Под. ред. Александрова, М.П., Решетова, Д.Н. - М.: Машиностроение, 1987. - 122 с.

15 Каширин, Н.А. Технологическая документация при выполнении дипломных и курсовых проектов: Учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ/ Н.А. Каширин, И.М. Морозов, В.А. Батуев, 2002. – 77 с

16 СТО ЮУрГУ 04-2008 Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению / составители: Т.

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		77

И. Парубочная, Н. В. Сырейщикова, В. И. Гузеев, Л. В. Винокурова. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 56 с.

17 Машины для земляных работ. Изд. 3-е, перераб. и доп. / Под ред. М. Д. Полосина, В. И. Полякова. - М.: Стройиздат, 1994. - 288 с.

18 Дунаев, П.Ф. Конструирование узлов и деталей машин / П.Ф. Дунаев, О.П. Леликов – Высшая школа, 1978.–352с.

19 Экскаваторы и стреловые краны: Каталог-справочник /. - М.: Машиностроение 1973.-86 с.

20 Справочник технолога машиностроителя. В 2-х т. Т2 под ред. Косиловой, А.Г. и Мерещакова, Р.К. 4-е изд. Пер и доп./ Косилова, А.Г., Мерещакова, Р.К. – М.: Машиностроение, 1986 г. 496с

21 Иосилевич, Г.Б. Детали машин: Учебник для студентов машиностроит. спец. Вузов. – М.: Машиностроение/ Иосилевич, Г.Б 1998. – 368 с.

22 «Режимы резания для токарных и сверлильно – расточных станков с ЧПУ». Справочник. 2-е изд./Под ред. Гузеева, В.И. М: Машиностроение, 2007. 368с

23 Исаков, В.М. Основы технологии машиностроения и технического нормирования: учебное пособие по выполнению курсовой работы. – Челябинск.: Изд-во ЮУрГУ/ Исаков, В.М., Ардашев, Д.В. 621(07) И 853, 2006.

					23.03.02.041.00.00.000	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		78