

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

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

Институт промышленной инженерии им. А. Буркитбаева

Кафедра «Транспортная техника»

Балтаев Ербол Майрамгалиулы

Разработка дорожного катка с изменяемой геометрией ведущего вальца

## **ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Специальность 5В071300 – Транспорт, транспортная техника и технологии


Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

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

Институт промышленной инженерии им. А. Буркитбаева

Кафедра «Транспортная техника»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ  
Заведующий кафедрой  
транспортной техники  
доктор технических наук  
 Машеков С.А.  
« 11 » 2019г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

На тему: «Разработка дорожного катка с изменяемой геометрией ведущего  
вальца»

по специальности: 5В071300 - Транспорт, транспортная техника и технологии

Выполнил

Балтаев Е.М.

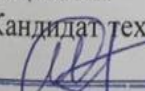



Рецензент

Научный руководитель

Кандидат технических наук

Кандидат технических наук

 Кекилбаев А.М.

 Кульгильдинов Б.М.

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ  
Начальник ОУП

2019г.

« 17 » 05 2019г.



Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

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

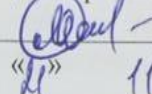
Институт промышленной инженерии им. А. Буркитбаева

Кафедра «Транспортная техника»

5B071300 – Транспорт, транспортная техника и технологии

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
транспортной техники  
доктор технических наук

 Машеков С.А.  
«11» 11 2018 г.

**ЗАДАНИЕ**

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся: Балтаеву Ерболу Майрамгалиулы

Тема: Разработка дорожного катка с изменяемой геометрией ведущего вальца

Утверждена приказом Ректора Университета № 1452-б от «06» ноября 2018г.

Срок сдачи законченной работы «17» мая 2019г.

Исходные данные к дипломной работе: Существующая конструкция дорожного катка с изменяемой геометрией ведущего вальца

Краткое содержание дипломной работы:

- а) обзорно-аналитическая часть
- б) патентно-технический обзор и анализ уплотняющего оборудования
- в) разработка рабочего органа для уплотнения асфальта
- г) расчет на производительность
- д) расчёт деталей рабочего органа для уплотнения асфальта на прочность



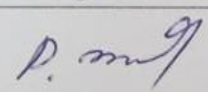
Перечень графического материала: общий вид – 1 лист формата А1, детализовка – 1 лист формата А1, валец – 1 лист формата А1, механизм привода – 1 лист формата А1, растяжная рама – 1 лист формата А1, патентный лист -1 лист формата А1.

Рекомендуемая основная литература: из 11 наименований

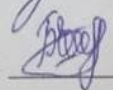
**ГРАФИК**  
подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления руководителю	Примечание
Общая часть	Январь-Февраль	
Специальная часть	Март-Апрель	

**Подписи**  
консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу  
с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименование разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Общая часть	Б.М. Кульгильдинов, к.т.н	17.05.18	
Специальная часть	Б.М. Кульгильдинов, к.т.н	17.05.18	
Нормоконтролер	Р.А. Козбагаров, к.т.н., доцент	20.05.18г	

Научный руководитель  Кульгильдинов Б.М.

Задание принял к исполнению обучающийся  Балтаев Е.М.

Дата

" 17 " ноября 2018 г.

## АННОТАЦИЯ

В дипломной работе разработан валец валец дорожного катка с изменяемой геометрией обечайки для уплотнения дорожного полотна. Произведен выбор и обоснование технологической схемы; произведена патентная проработка, разработка рабочего органа для уплотнения асфальта, определены технологические и конструктивные параметры оборудования; произведен расчет на производительность, расчёт деталей рабочего органа и элементов конструкции на прочность.

Данная дипломная работа содержит: страниц -53, таблиц – 3, рисунков - 31, чертежей формата А1- 6, библиография - 11 наименований.

## АНДАТПА

Дипломдық жұмыста жол төсемін нығыздауға арналған ернеушенің өзгеретін геометриясы бар жол каткасы валец валец әзірленді. Технологиялық схеманы таңдау және негіздеу жүргізілді; патенттік пысықтау, асфальтты тығыздау үшін жұмыс органын әзірлеу жүргізілді, Жабдықтың технологиялық және конструктивтік параметрлері анықталды; өнімділікке есептеу, жұмыс органының бөлшектері мен конструкция элементтерінің беріктігіне есептеу жүргізілді.

Бұл дипломдық жұмыста: 53 бет, 3 кесте, 31 суреттер, А1 форматындағы 6 сызбалар, 11 атау – библиография бар.

## **ANNOTATION**

In this diploma work developed the drum roller of the road roller with variable geometry of the shell for the compaction of the roadway. The selection and justification of the technological scheme; Patent elaboration, development of a working body for asphalt compaction, technological and design parameters of the equipment; calculated on the performance, the calculation of parts of the working body and structural elements for strength.

Explanatory note contains: pages -53, tables -3, figures -31, A1-6 format drawings, bibliography - 11 titles.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1 Обзорно-аналитическая часть	10
1.1 Современные способы и технологии процесса уплотнения	10
1.2 Классификация дорожных катков	10
1.3 Выбор и обоснование технологической схемы	15
2 Патентно-технический обзор и анализ уплотняющего оборудования	26
3 Разработка рабочего органа для уплотнения асфальта	27
3.1 Выбор стали для гибкого вальца	27
3.2 Расчет обечайки на прочность	29
3.3 Расчет кольца, нагруженного двумя силами	37
3.3.1 Определение перемещений	40
3.4 Оценочные расчеты гибкого вальца	41
3.5 Расчет на производительность	45
3.6 Расчёт деталей рабочего органа для уплотнения асфальта на прочность	46
3.6.1 Расчет вала на прочность	46
3.6.2 Расчет шлицевого соединения	47
Заключение	49
Список использованной литературы	50
Приложение	51



## ВВЕДЕНИЕ

Процесс уплотнения – один из завершающих этапов возведения дорожного покрытия – во многом определяет качество сооружения в целом. Качество дорожного строительства зависит от совершенства технологии, организации производства, технической оснащённости.

Машины и оборудование для уплотнения грунтов предназначены для создания и восстановления плотности и прочности грунтов, уложенных в инженерные сооружения, придания им необходимой устойчивости, несущей способности и водонепроницаемости. Качество уплотнения оценивается отношением фактической плотности грунта к его максимальной стандартной плотности, определяемой методом стандартного уплотнения. Плотность верхних слоев насыпи автомобильной дороги должна быть не менее 98 % стандартной, нижних слоев – не менее 95 %. Достижение такой высокой плотности возможно только при выдерживании технологических требований к свойствам уплотняемого грунта и правильном подборе уплотняющей техники.

Трудно переоценить значение дорог в современном мире. Становление и развитие экономики любой страны тесно связано со строительством дорог. Там, где строятся дороги, начинается жизнь, повышается уровень культуры и благосостояния населения. Дороги сокращают расстояния не только между городами и селами, но и сближают людей, укрепляют дружбу народов.

Нет особой нужды доказывать техническую и экономическую важность и потребность высококачественного уплотнения асфальтобетонных смесей при строительстве, реконструкции или ремонте покрытий автомобильных дорог. Применяемые сейчас передовые технологии и современные средства укладки и уплотнения горячих смесей позволяют дорожнику достаточно успешно и быстро справляться с этой сложной задачей в большинстве практических случаев, достигая высоких показателей ровности и плотности покрытия.

Снижение плотности ведет к снижению механической прочности слоя (слой может воспринять меньшую колесную нагрузку), к снижению температурной прочности (слой разрушается при меньшей, чем расчетная, отрицательной температуре). Также отрицательно влияет на прочность и долговечность асфальтобетонного покрытия и переуплотнение смеси, при котором разрушаются зерна каменного материала (щебня) в местах их контакта. При этом в слое появляются поверхности не обработанного битумом каменного материала, являющиеся зонами, опасными при действии растягивающих напряжений от воздействия нагрузок и низких температур.

## 1 Обзорно-аналитическая часть

### 1.1 Современные способы и технологии процесса уплотнения

Для уплотнения слоев асфальтобетонного покрытия применяются дорожные катки, часто называемые «асфальтовыми». Технология уплотнения дорожного покрытия вальцевыми катками предусматривает использование, как правило, нескольких комплексов с различными типоразмерами катков. Применение таких комплексов должно обеспечивать необходимое качество работ, которое в основном определяется плотностью и показателем водонасыщения. Критериями оценки эффективности комплексов являются производительность и стоимость уплотнения покрытия. Применение комплексов обусловлено и спецификой уплотнения дорожных покрытий, и необходимой «дозировкой» уплотняющего действия различных катков. Эффект уплотнения дорожно-строительных материалов достигается тогда, когда контактное давление вальца или колеса на уплотняемую поверхность приближается к пределу прочности слоя материала, но не превышает этот предел. При несоблюдении этого условия невозможно достижение требуемых плотности и ровности покрытия. Прочность асфальтобетонной смеси и её сопротивляемость деформированию не остаются постоянными, а возрастают в процессе уплотнения из-за остывания смеси и увеличения её плотности. При этом прочность слоя возрастает в 7 – 10 раз, а сопротивляемость деформированию – в 12–20 раз.

Комплекс катков, состоящий из легкого, среднего и тяжелого типов, которые имеют оптимальное линейное давление соответственно 15 – 20, 35 – 40 и 50 – 60 кН/м, позволяет начинать укатку при высоких температурах асфальтобетонной смеси (130-135°C), что обеспечивает высокое качество уплотнения за меньшее число проходов. Применяя комплекс статических гладковальцовых катков, можно получить асфальтобетонное дорожное покрытие, полностью отвечающее техническим требованиям. Эти катки просты по конструкции и не вызывают трудностей при эксплуатации, однако на месте работ необходимо иметь не менее трех типоразмеров катков. Наличие большого количества единиц катков затрудняет организацию четкой их работы и размещение этого оборудования на ограниченном участке дорожной полосы. Вследствие этого комплекс машин, обеспечивающий процесс устройства конструктивных слоев дорожной одежды, обладает низкой производительностью, высокими показателями энерго и металлоемкости, насыщен людскими ресурсами.

### 1.2 Классификация дорожных катков

Дорожные катки классифицируют по типу уплотняющих рабочих органов:

- вибрационные:

двухосные или двухвальцевые (называемые «тандем»), являющиеся основным уплотняющим средством для уплотнения асфальтобетонной смеси с рабочими органами в виде вальцев, внутри которых размещаются вибраторы, вызывающие высокочастотные динамические воздействия на уплотняемый слой (Рисунок 1).

Большая производительность вибрационного катка связана с тем, что, при одной и той же длине контакта вибровальца и статического вальца, вибровалец на каждом вибрационном цикле оказывает на смесь увеличенное давление, т.е. как бы производит несколько проходов.



Рисунок 1 - Вибрационный каток с горизонтальной вибрацией DV-6 фирмы «Hamm-Wirtgen Group»

Современные вибрационные и комбинированные катки имеют, как правило, два режима вибрационного воздействия: с большой (0,44-0,91 мм) и малой (0,23-0,41 мм) амплитудой, для реализации которых катки имеют два режима вибрации: низкочастотный (31-42 Гц) и высокочастотный (50-70 Гц). У ряда фирм две амплитуды реализуются при одной частоте вибрации (Ingersoll Rand, Stavostroj), а Caterpillar на каток CB 534D устанавливает разработанную компанией систему Versa-Vibre, которая позволяет выбрать две большие амплитуды (0,86 и 0,73 мм) при низкой частоте вибрации (42 Гц) и две малые амплитуды (0,44 и 0,30 мм) при высокой частоте вибрации (63,3 Гц).

Половину проходов рекомендуется выполнять с большой амплитудой, а вторую половину или одну треть проходов (когда длина контакта вальца со смесью сокращается, и нагрузка резко возрастает) - с малой амплитудой, чтобы не образовались поперечные трещины на покрытии. В последние 10-12 лет в мире появились вибрационные катки с горизонтальными и регулируемыми (изменяемыми) вибрационными воздействиями на уплотняемую смесь. Родоначальником таких катков явилась фирма «Hamm – Wirtgen Group». Такие

катки можно применять (при горизонтальной вибрации) при уплотнении асфальтобетонного покрытия на мостах и путепроводах, а также вблизи от сооружений, которые могут обрушиться или получить повреждение при вертикальном динамическом воздействии на грунт.

-пневмоколесные:

двухосные, являющиеся выявителями и ликвидаторами неуплотненных мест в слое асфальтобетонной смеси в поперечном направлении; рабочими органами являются пневматические шины, установленные попарно на шарнирах, что вызывает постоянную нагрузку на каждую шину, а следовательно, и каждой шины на уплотняемую асфальтобетонную смесь (Рисунок 2).



Рисунок 2 - Пневмоколесный каток GW750 фирмы «SAKAI»

-комбинированные:

двухосные, являющиеся соединением одного вальца вибрационного катка и одного набора пневмоколес пневмоколесного катка и объединяющие свойства двух первых катков (Рисунок 3, 4).

- статические:

двухосные (двухвальцевые или трехвальцевые), рабочими органами которых являются статические (без вибрации) вальцы с увеличенной нагрузкой на единицу (см) ширины вальца; статические катки имеют сниженную производительность по сравнению с вибрационными катками (Рисунок 5).

При укладке слоев асфальтобетонной смеси без боковых упоров (отсутствует бордюрный камень) в состав отряда рекомендуется дополнительно включать один-два статических (без вибрации) катка массой 10 т, работающих на укатке краев слоя, что обеспечивает поперечную ровность

покрытия до самого края и отсутствие трещин по краю, т.к. под вибровальцем край полосы оплывает и трескается.

Статические катки используют при окончательном уплотнении стыка двух параллельно укладываемых полос одного слоя и при уплотнении кромки слоя (с бордюром и без бордюра), так как под действием статического вальца свободная кромка не сплывает и меньше вероятность сдвига бордюрного камня. Валец (цилиндрический рабочий орган) статического и вибрационного катка автоматически с каждым следующим проходом имеет все меньшую длину контакта с асфальтобетонной смесью по мере ее уплотнения и повышения несущей способности (или прочности). Таким образом, при той же статической или динамической нагрузке на единицу ширины вальца удельная нагрузка на единицу площади контакта постоянно повышается до достижения требуемой плотности смеси в слое.



а)

б)

Рисунок 3 - Комбинированные катки фирмы «SAKAI» TW502 (а) и фирмы «РАСКАТ» ДУ 99 (б)

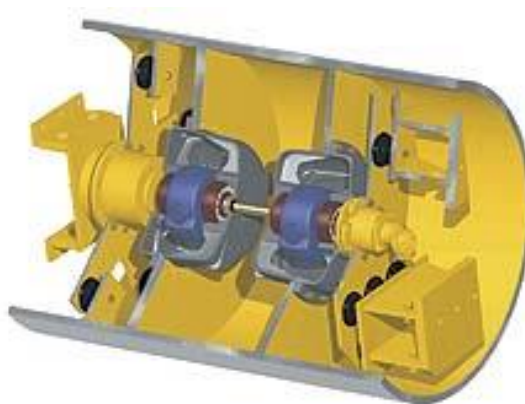
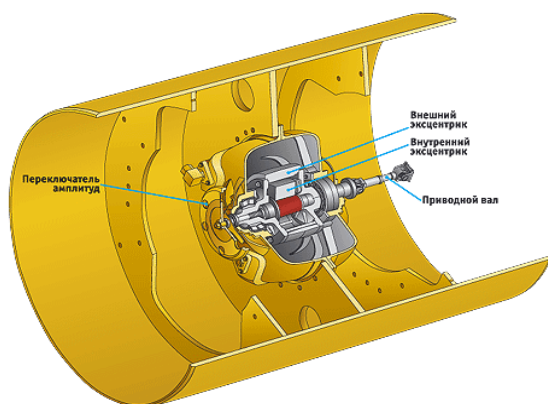


Рисунок 4 - Установка многоамплитудных вибровозбудителей фирмы «Caterpillar» внутри вибровальца





а)



б)

Рисунок 5 - Статический дорожный каток ДУ 47БГ РС фирмы «Раскат» (а) и каток фирмы «НАММ» (б)

Мировая практика уплотнения слоев асфальтобетонного покрытия выработала технологию последовательной работы (один за другим) сразу трех катков: комбинированного (пневмоколесами вперед), вибрационного и пневмоколесного. Статические катки работают отдельно - на завершающем этапе уплотнения. Выбор катка производят по его массе, которая обеспечивает соответствующую толщину уплотняемого слоя и производительность. Рекомендуемые для выбора массы катка обеспеченная толщина уплотняемого слоя (в см) и реальная производительность (т/ч) для вибрационного, комбинированного, пневмоколесного и статического катков приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Сравнительный анализ по типу катков

Тип катка	Толщина уплотняемого слоя (см)/производительность(т/ч) при массе катка в т					
	6-8	9-11	12-16	17-20	22-26	30-35
Вибрационный	<u>5-15</u> 50-150	<u>5-15</u> 70-200	<u>5-20</u> 80-250			
Комбинированный	<u>5-15</u> 35-120	<u>5-15</u> 50-150				
Пневмоколесный			<u>5-20</u> 35-150	<u>5-25</u> 50-200	<u>5-30</u> 65-300	<u>5-40</u> 75-400
Статический	<u>5-10</u> 25-75	<u>5-12</u> 35-100	<u>5-15</u> 40-120			

Ведущие мировые производители дорожных катков предлагают:

1) широкие типоразмерные ряды вибрационных и комбинированных катков и достаточно узкие типоразмерные ряды пневмоколесных и статических катков;

2) приводы хода и вибрации, а также сами вибросистемы высокой надежности;

3) виброизолированные сиденья и полы операторов.

Основным требованием к каткам для уплотнения асфальтобетонных смесей всегда было и остается сегодня требование высокой надежности. При работающих асфальтобетонном заводе и, особенно, асфальтоукладчике выход из строя катка приводит к гибели уложенной асфальтобетонной смеси, т. к. даже в летнее время полутора - двухчасовой перерыв в уплотнении смеси приводит к снижению ее температуры до 80 градусов С и ниже и невозможности ее дальнейшего уплотнения до требуемых величин.

Поэтому при небольшом расчетном количестве катков в отряде производители работ всегда включают в состав отряда один-два дополнительных катка. Это еще раз подтверждает, что повышение надежности катков - одно из основных направлений развития этих машин как основы снижения стоимости работ при гарантированном их качестве.

### 1.3 Выбор и обоснование технологической схемы

На рисунке 6 показана схема контакта с уплотняемой поверхностью вальца с изменяемой геометрией кривизны обечайки с указанием минимального и максимального радиусов кривизны в зоне пятна контакта с уплотняемой поверхностью.

По схеме видно, что с увеличением пятна контакта вальца и уплотняемой поверхности уменьшается реакция опорной поверхности на валец и угол  $\varphi$  контакта уплотняемого материала и обечайки вальца катка. Два этих фактора указывают на то, что валец будет меньше проваливаться в уплотняемый материал по глубине и, соответственно, меньше сдвигать материал в горизонтальной плоскости. Из-за более малого угла  $\varphi_1$  контакта с уплотняемой поверхностью валец будет подминать под себя материал в зоне контакта с ним, и уплотнять его, а не сдвигать его перед собой как в случае с большим углом контакта  $\varphi_0$ . При уменьшении пластичности материала, например, при остывании асфальтобетона, и увеличении его жесткости обечайку вальца можно изменить таким образом, чтобы уменьшилось пятно контакта, а давление на уплотняемый материал увеличилось.

Для производства работ используется базовый отряд техники в составе: дорожный самоходный каток массой 6-8 т с гладкими вальцами, три аналогичных катка массой 10-13 т и укладчик асфальтобетона. Производительность отряда используемой техники 300 м<sup>2</sup>/ч (одинаковая для сравниваемых вариантов), время работы в году – 2000 ч. Применение проектируемого катка позволит заменить три тяжелых катка массой 10-13 т.

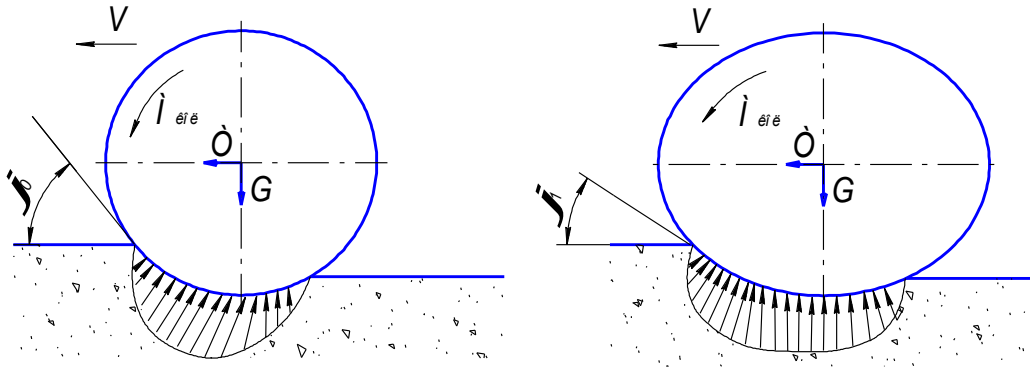


Рисунок 6 - Схема контакта с уплотняемой поверхностью вальца с изменяемым радиусом кривизны и действующих на него сил

Предлагаемый каток позволяет бесступенчато менять контактные давления вальца на материал, а при установке вибровозбудителя – динамически воздействовать на уплотняемый материал, тем самым, создавая максимальную эффективность уплотнения, снижая структурное сопротивление материала деформированию и оптимально дозируя величину контактного давления, что позволит уплотнять дорожные материалы, достигая коэффициента уплотнения  $K_y=1$  и более, при меньшем числе проходов по одному следу. В целом использование таких катков способно существенно повлиять на темпы строительства дорожных сооружений и расширение сети автомобильных дорог в нашей стране и за рубежом. Применение катка с изменяемой геометрией уплотняющих вальцов позволит интенсифицировать процесс уплотнения дорожно-строительных материалов и улучшить условия работы машиниста.



## 2 Патентно-технический обзор и анализ уплотняющего оборудования

Результаты анализов показывают, что дорожные катки для уплотнения грунтов и асфальтобетонных смесей, в том числе наиболее прогрессивные вибрационные, еще не в достаточной мере соответствуют потребностям дорожной практики. Но у них есть потенциальные возможности и пути для функционального и технологического совершенствования, и в первую очередь за счет «умного» регулирования уплотняющих силовых воздействий и создания более универсальных образцов.

Применение вальцов традиционной конструкции не позволяет спроектировать универсальный каток, обеспечивающий оптимальные параметры уплотнения дорожно-строительных материалов даже за несколько проходов по одному следу. Существующими катками, даже при работе на повышенных скоростях, затрачивается довольно значительное время на уплотнение покрытия. Поэтому не всегда удается достичь требуемой степени уплотнения из-за неэффективности укатки при низких температурах. При уплотнении асфальтобетонных смесей не используется наиболее эффективный интервал температур 130...160°C. Это объясняется отсутствием рабочих органов, способных эффективно и качественно работать в указанном температурном интервале.

Создание и поддержание на протяжении всего процесса уплотнения условий, при которых происходит равномерное обжатие слоя по глубине, а напряженное состояние слоя способствует развитию в материале пластических сдвигов и сравнительно равномерному распределению их по деформируемому объему, является в настоящее время одним из главных направлений в интенсификации процесса укатки дорожно-строительных материалов.

Процесс уплотнения дорожно-строительных материалов наиболее эффективен, когда максимальные контактные давления под рабочими органами катков изменяются в строгом соответствии с изменением предела прочности уплотняемого материала на всем протяжении укатки, когда давления под рабочим органом уплотнителя приближаются по своей величине к пределу прочности материала, но не превышают его. На каждом этапе процесса уплотнения интенсивность воздействия рабочих органов на слой материала должна соответствовать изменяющимся свойствам смеси. При излишне высоких контактных давлениях будет происходить пластическое течение материала из-под вальцов катка, что влечет за собой еще и волнообразование, существенно ухудшающее ровность поверхности. При недостаточных давлениях не будет достигнута требуемая плотность слоя, что отрицательно скажется на прочности, несущей способности и долговечности дорожного покрытия. Поэтому остро встал вопрос о создании дорожного катка с регулируемым статическим давлением на уплотняемую поверхность.

Проведем предметный патентный поиск для выявления аналогов и анализа существующих конструкций комбинированных дорожных катков, сочетающих в себе принцип укатки и трамбования и катков, способных

изменять величину контактного давления в зоне соприкосновения с уплотняемым материалом.

Известен каток (а.с. СССР № 1571125), у которого рабочая поверхность вальцов состоит из набора ребер, поперечное сечение которых подобрано таким образом, что позволяет регулировать контактное давление в ходе уплотнения (рисунок 7). Основные размеры ребра определяются из следующих условий: в начале процесса уплотнения, когда смесь обладает минимальным реактивным сопротивлением, ребра полностью погружаются в нее всей поверхностью « $aedc$ »; с ростом сопротивления ребра выходят на поверхность, уменьшая при этом опорную площадь контакта. На заключительном этапе она достигает величины « $ed$ ». Это позволяет уменьшить опорную поверхность рабочего органа в соответствии с ростом сопротивления в материале. Исходя из таких условий, определяется высота ребра вальца, суммарная ширина ребер на разных этапах уплотнения. Глубина погружения ребер при каждом проходе катка будет зависеть от сопротивления материала деформированию.

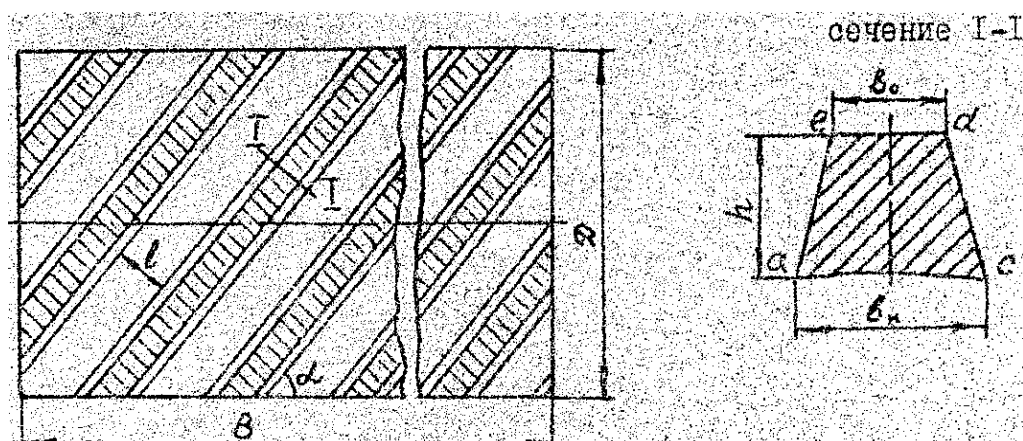


Рисунок 7 - Валец (рабочий орган катка) по а.с. СССР № 1571125

Недостатком данного устройства является сложность технического изготовления такого вальца и его позиционирование на начальном этапе уплотнения, а также невозможность теоретического определения рационального расстояния между ребрами и их количество. Данное расстояние можно было определить только методом «экранов», и с использованием полученных данных рассчитывалось количество ребер на вальце.

Для повышения эффективности работы катков, НИИ «Гидропроект» разработал валец дорожного катка, который состоит из цилиндрической обечайки, покрытой лентой из упругого материала (а.с. СССР № 667625). При необходимости изменения жесткости вальца резиновая лента 2 (рисунок 9) сматывается с обечайки 1 (или наматывается) таким образом, что боковые поверхности ее входят друг в друга.

При этом петлевые выпуски 3 закреплены в фиксаторах 4. В результате такого преобразования изменяется жесткость вальца, следовательно, контакт и удельное давление на поверхность уплотняемого материала. Такое выполнение дорожного катка позволяет расширить область его применения для уплотнения

различных материалов и сократить число типоразмеров дорожных катков традиционной конструкции. К недостаткам данного устройства можно отнести сложность переналадки с одной величины линейного давления на другую.



Рисунок 8 - Каток с ребристым ведомым передним вальцом

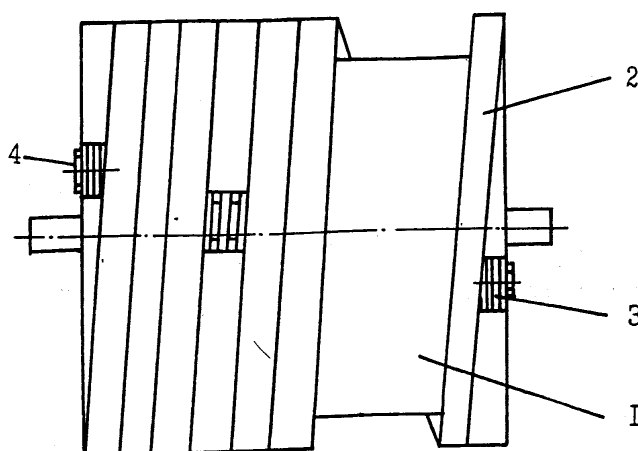


Рисунок 9 - Валец по а.с. СССР № 667625

Работа вальца осуществляется следующим образом: гидромотор 1 через цепные передачи 2 и 3 приводит во вращение опорные валики 4 и 5, которые, опираясь на внутреннюю поверхность гибкой цилиндрической обечайки 6, катятся по ней. Вследствие того, что обечайка не проскальзывает по поверхности уплотняемого материала, качение опорных роликов по ее внутренней поверхности сопровождается поступательным перемещением кронштейна 7, а вместе с ним и рамы 8 в целом. Гидроцилиндр 9, втягиваясь или выдвигаясь, может изменять положение кронштейна 7 относительно поверхности уплотняемого материала, изменяя, таким образом, радиус кривизны обечайки в месте контакта. В положении, когда линия, соединяющая

поверхности касания опорных валиков с обечайкой параллельна поверхности уплотняемого материала, контактное давление минимально, а в положении, когда ось одного из валиков расположена на перпендикуляре к поверхности в месте касания – максимально. Начинать уплотнение следует при положении кронштейна (рисунок 11,а), а заканчивать – при положении кронштейна (рисунок 11,в). Недостатком устройства является нерациональное изменение угла скатывания при переналадке вальца, который должен быть минимальным при работе на рыхлом материале. В рассмотренной конструкции — это условие не соблюдается.

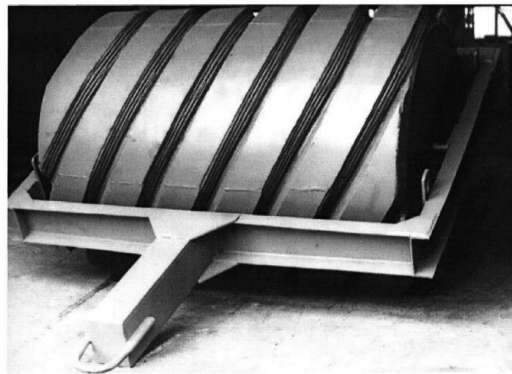


Рисунок 10 - Прицепной валец катка покрытый гибкой лентой (металлическим тросом) для изменения жесткости обечайки

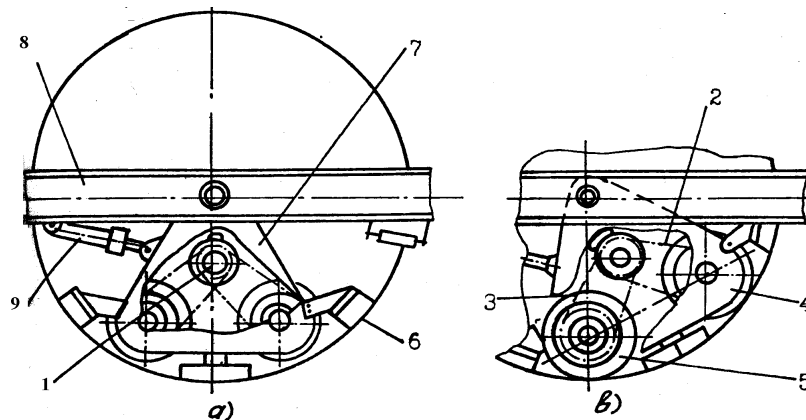


Рисунок 11 - Валец по а.с. СССР № 935569

Целью изобретения (а.с. СССР №1096330), также является сокращение типоразмеров дорожных катков за счет бесступенчатого изменения величины контактного давления в зависимости от предела прочности обрабатываемого материала. Указанная цель достигается тем, что ведущий валец (рисунок 12) имеет обечайку 1 из упругого материала с расположенными в ее полости и контактирующими с внутренней поверхностью опорными роликами 2, оси которых расположены по симметричному замкнутому контуру переменного радиуса кривизны. При работе на рыхлом материале валец установлен как

показано на рисунке 11, и такому положению соответствует максимальный радиус кривизны, а, следовательно, минимальное давление. Далее, для повышения эффективности уплотнения, необходимо увеличить давление вальца в зоне контакта – это достигается поворотом его на требуемый угол посредством гидроцилиндра 3.

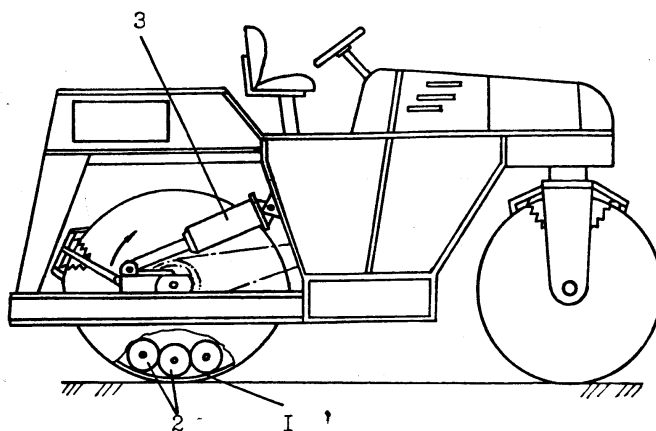


Рисунок 12 - Дорожный каток с вальцом переменного радиуса кривизны

Аналогичную цель преследует изобретение (а.с. 723017), в котором изменение контактного давления вальцов достигается плавной балластировкой катка, путем перераспределения веса балласта (рисунок 13) между тремя вальцами 1,2,3. По мере уплотнения материала возникает необходимость в увеличении удельного давления на вальцах 1 и 2, что осуществляется включением средства 4 для создания вакуума, с помощью которого и создают избыточное давление на шасси и платформу 5.

Одним из решений такого пути является изобретение по патенту США № 4334799, в котором обработка производится как статическим давлением рабочего органа на материал, так и динамическим воздействием.

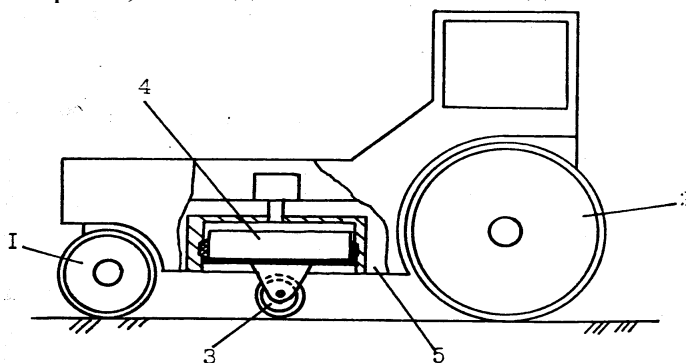


Рисунок 13 - Каток с плавной балластировкой

Каток состоит из нескольких дисков 1 (рисунок 14), имеющих общую ось 2 и катящихся по уплотняемой поверхности. Между дисками на осях 3 с возможностью вращения вокруг них установлены штампы 4 с криволинейным профилем 5. При движении катка штампы периодически наносят удары криволинейной поверхностью по материалу, а затем прокатываются по

поверхности и дополнительно производят уплотнение верхнего слоя путем статического воздействия.

Недостаток устройства состоит в том, что по окончании удара штамп начинает передвигаться со скольжением по поверхности в направлении движения машины, при этом начиная частичное разрыхление уже уплотненного материала в зоне контакта.

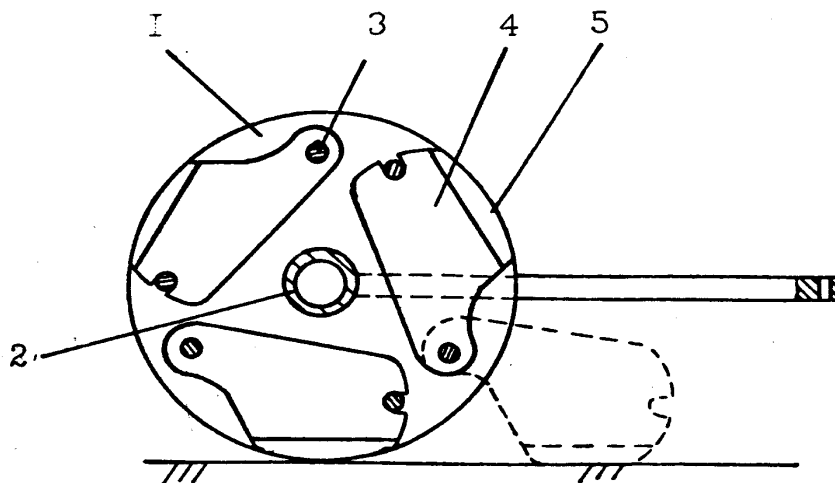


Рисунок 14 - Импульсный каток по патенту США № 4334799

Данного недостатка лишено изобретение вальца катка (а.с. СССР №1098987), содержащего барабан с равномерно расположенными по окружности валиками 1 (рисунок 15), закрепленными на центральной оси, и обечайку из упругого материала 2. Валики, прокатываясь по внутренней поверхности обечайки, многократно воздействуют на уплотняемый материал, тем самым интенсифицируя процесс уплотнения.

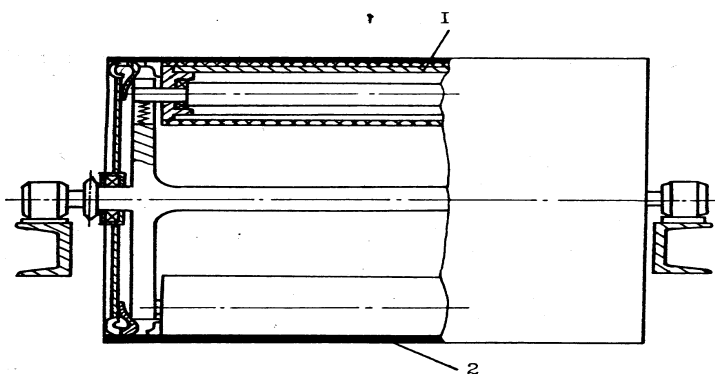


Рисунок 15 - Валец с динамическим воздействием на материал по а.с. СССР № 1098987

Валец катка (а.с. СССР № 924216), содержащий цилиндрическую обечайку 1 (рисунок 16) с размещенным в ее полости ударным механизмом, сообщенным с источником энергоносителя и имеющим инерционную массу с бойком 2, также работает по принципу совмещения статического и динамического воздействия на материал. При подаче сжатого воздуха в

силовую камеру 3 в ней создается избыточное давление, под действием которого уплотнительная кромка манжеты 4 плотно прижимается к внутренней поверхности обечайки. Создаваемое давление поднимает инерционную массу вверх и, после разгерметизации камеры, она под действием веса падает и наносит удар по поверхности обечайки, а через нее – по уплотняемой среде.

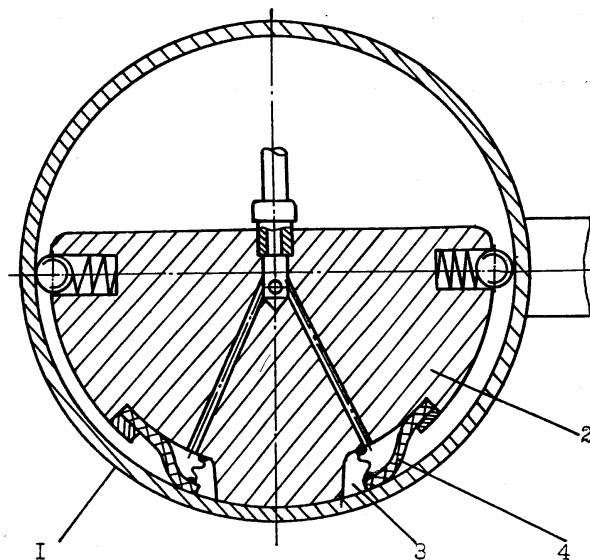


Рисунок 16 - Валец вибрационного катка по а.с. СССР № 924216

Рассмотренные изобретения дают возможность интенсифицировать процесс уплотнения лишь до определенного предела в силу конструктивных особенностей рабочего органа. При величине усадки материала выше некоторого значения валец будет производить сдвиг верхнего слоя в направлении движения машины ввиду увеличения угла скатывания, образованного данной поверхностью и касательной к окружности вальца в точке контакта его с материалом в первоначальный момент. Таким образом, подобное исполнение рабочих органов уплотняющих устройств дает возможность сократить число проходов лишь до определенного предела, который зависит от толщины слоя и требуемой степени уплотнения.

В дальнейшем для совершенствования процесса уплотнения с целью получения максимального коэффициента уплотнения в состав машины вводится активный рабочий орган циклического действия, который будет способен многократно воздействовать на материал при непрерывном поступательном перемещении вдоль уплотняемой полосы и иметь возможность адаптации к условиям протекания процесса. Одним из таких технических решений стал дорожный каток (а.с. СССР №1470833), который имеет уплотняющий механизм циклического действия, состоящий из рамы 1 (рисунок 17), секций вальцов 2 одинакового диаметра, на оси которых шарнирно установлены два звена 3 в виде тяг. Один конец каждого звена соединен с шатуном 4 кривошипно-шатунного механизма шарниром 5, а другой – с соответствующей секцией вальцов. Звенья шарнирно соединены с рамой

посредством стержней 6. При вращении вала привода 7, секции валцов совершают возвратно-поступательное движение и оказывают многократное воздействие на уплотняемый материал за один проход катка.

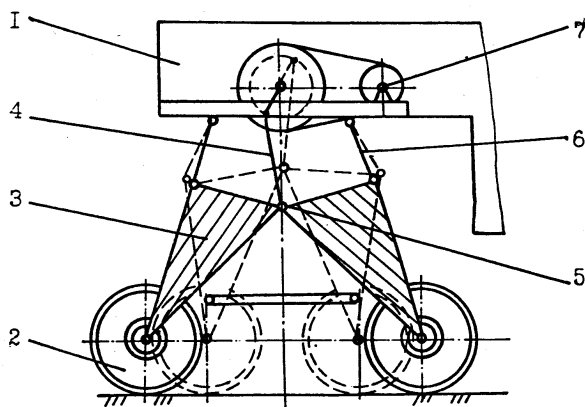


Рисунок 17 - Каток циклического действия по а.с. СССР № 1470833

Недостаток данного устройства в том, что возвратно-поступательное движение каждой из секций, при непрерывном перемещении базовой машины, повышает вероятность сдвига материала при каждом цикле работы.

Эта задача решается в конструкции катка (патент Германии №734479), (рисунок 18). Рабочий орган выполнен в виде валцов цилиндрической формы 1, свободно вращающихся на коленчатом валу 2, который имеет принудительное вращение от энергоносителя 3.

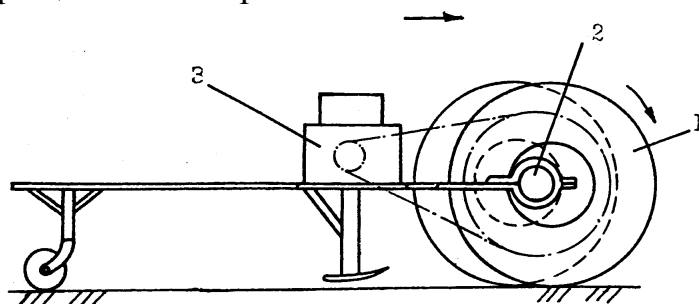


Рисунок 18 - Каток по патенту Германии № 734479

Вращение валцов имеет направление, продиктованное следующим соображением: сдвигающая нагрузка в материале, от действия на него рабочего органа, должна быть направлена в сторону уже уплотненного участка поверхности, который имеет большее сопротивление, чем рыхлый материал неуплотненного участка, расположенного перед рабочим органом при его поступательном движении.

Грунтоотрамбующий каток (патент США №29328439) состоит из барабана 1, на внешней цилиндрической поверхности которого на кронштейнах 2 установлены диски 3, каждый из которых свободно вращается на индивидуальной оси 4 (рисунок 19). Диски установлены по поверхности барабана в шахматном порядке для того, чтобы не оставалось непроработанных участков материала. При вращении барабана и непрерывном передвижении



базовой машины каждый из дисков оказывает ударное и укатывающее воздействие на материал, производя его интенсивное уплотнение.

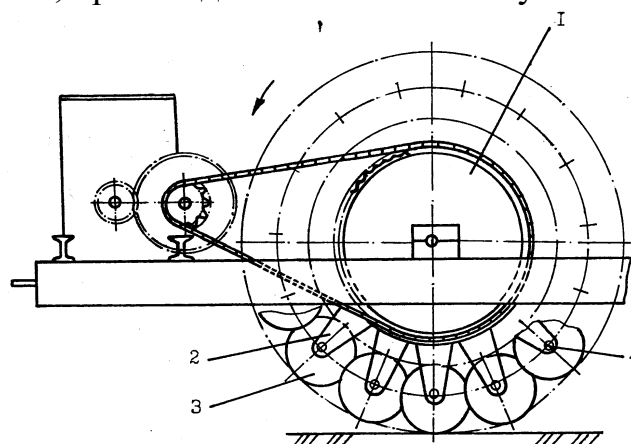


Рисунок 19 - Грунтотрамбующий каток по патенту США №29328439

Недостаток рассмотренных конструктивных решений заключается в том, что рабочий орган в каждом из них не имеет возможности переналадки для обработки материалов различного состава и в других условиях.

Частично эту проблему решает изобретение (а.с. СССР № 894063), (рисунок 20). Здесь механизм содержит установленный на валу ротор 1 с шарнирно смонтированными по его периметру рычагами 2, на концах которых закреплены уплотняющие катки 3. С целью повышения эффективности работы при уплотнении грунта в траншеях под трубопроводы ротор выполнен в виде двух концентричных элементов, наружный из которых имеет механизм поворота, а внутренний жестко закреплен на валу и шарнирно соединен со свободными концами рычагов. Это устройство можно успешно использовать и для целей дорожного строительства при уплотнении грунтов земляного полотна, но не асфальтобетонных смесей, из-за недостаточной глубины укладываемых и уплотняемых слоев.

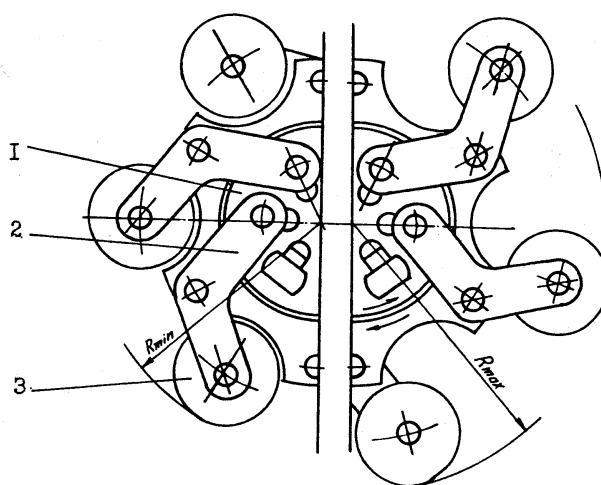


Рисунок 20 - Рабочий орган для уплотнения грунта по а.с. СССР № 894063

Обзор и анализ патентно-технических решений в области процесса уплотнения грунтов определил основные тенденции развития уплотняющей техники, которые обусловлены стремлением к повышению эффективности существующих конструктивных решений при минимально возможных стоимостных и энергетических затратах. Из рассмотренных механизмов наибольшее внимание следует уделить тем, которые способны повысить производительность работ по уплотнению и уменьшить вероятность появления таких дефектов, как сдвиг материала с образованием волн, что является в настоящее время очень актуальным вопросом, а также разрыхление поверхностного слоя.

### 3 Разработка рабочего органа для уплотнения асфальта

#### 3.1 Выбор стали для гибкого вальца

Предел выносливости у обычных сталей колеблется от  $\pm 20$  до  $\pm 40$  кг/мм<sup>2</sup>. У сталей специальных, например с составом С=0,3%, Мn=0,56%, Cr=1,4%, Ni=4,3% он может достигать значений  $\pm 50 \dots \pm 70$  кг/мм<sup>2</sup>.

Толщину стенки обечайки предварительно, без учета запаса прочности, определяем по рекомендациям для гибких элементов волновых передач:

$$s = (0,005 \dots 0,03) \cdot d_0 \quad (1)$$

$$s = 0,015 \cdot 1200 = 18 \text{ мм}$$

где  $s$  – толщина стенки гибкого вальца;  $d$  – наружный диаметр гибкого вальца.

Диаметр обечайки гибкого вальца является тем конструктивным параметром, от которого так или иначе зависят все другие размеры вальца

В расчетах диаметр гибкого вальца  $d_0$  и его ширину  $l$  принимаем равными средним значениям размеров существующих вальцов для различных наиболее применяемых типоразмеров катков разных производителей, для которых планируется применять гибкие вальцы (таблица 2).

Таблица 2 - Диаметры и ширина вальца катка различных фирм-изготовителей

Фирма– изготовитель катка, страна	Масса катка, т											
	1,2-1,9		2,5-4,0		6,0-8,0		9,0-12					
	Диаметр вальца,	Ширина вальца,	Диаметр вальца,	Ширина вальца,	Диаметр вальца,	Ширина вальца,	Диаметр вальца,	Ширина вальца,				
Дунарас, Швеция	0,55;	0,8;	0,68;	1,0;	1,1;	1,45;	1,2;	1,68;				
	0,55	0,9	0,68;	1,2;	1,1	1,68	1,2;	1,95;				
			0,8	1,3			1,3	2,13				
Caterpillar, США			0,7;	1,0;	1,1	1,4	1,2;	1,7;				
			0,7	1,2			1,3;	1,7;				
							1,3	2,13				

Продолжение таблицы 2

Раскат, Россия	0,61; 0,89	0,87; 0,87	0,9	1,08	1,0; 1,2; 1,2	1,4; 1,4; 1,5	1,2; 1,2	1,7; 2,0
Принятые средние значения	0,65 (0,61)	0,85 (0,84)	0,75 (0,74)	1,15 (1,14)	1,15 (1,14)	1,55 (1,51)	1,25 (1,24)	1,85 (1,83)

Выбираем каток фирмы «Раскат», его параметры выделили жирным.

Длина (ширина) гибкого вальца, которая подвергается одинаковой равномерной деформации при изгибе вальца по его краям, определяется из оптимального соотношения с диаметром вальца:

$$l = 2000 \text{ мм} \quad (2)$$

Если же ширина гибкого вальца превышает указанную оптимальную величину, то рекомендуется через расстояние  $l$  ставить дополнительный изгибающий ролик или делать валец разрезным по ширине. Основным критерием при выборе материала – уровень напряженного состояния гибкого вальца, а основная рабочая характеристика материала – приведенный предел выносливости при знакопеременном изгибе  $\sigma_{-1}^{np}$ .

Таблица 3 - Выбор материала обечайки

Марка стали	Термическая обработка	твёрдость		Предел выносливости, МПа		
		RC	B	$\sigma_{-1}$	$\tau_{-1}$	$\sigma_B$
45ХН	З. 845. вода О. 590, вода	2	50	06	73	150
30ХН3А	З. 830, м+Ов, 580		41	20		50
30ХН2МА	З. 850. м. О.560		32	56	30	660
40ХН2МА	З. 850, м+Ов,580		75	47	74	880
34ХН1М	З. 860, м+Ов, 620-645, 6		62	25		660

Продолжение таблицы 3

34ХНЗМА	З. 850, м+Ов, 560-620		93	35		500
65Г	З. 810, м+Ов, 500, воздух	0	93	80	84	470
55С2	З. 880, м+Ов, 400-450, возд.	8	41	21	94	270
60С2	З. 860. м. О. 400-550	7	45	90	94	380
60С2ХФА	З. 880. м. О. 415.	5		49	94	900

Выбранную сталь затемнили.

### 3.2 Расчет обечайки на прочность

Вначале нанесем окружность, определяющую габариты кулачка, это будет как бы недеформированная окружность. Ее центр находится в точке  $O$ . Поместим окружности минимального профиля кулачка таким образом, чтобы они немного заходили за недеформированную окружность. Их центры находятся в точках  $O_1$  и  $O_1'$ . Представим теперь линию центров кривизны профиля кулачка в виде ломаной, касающейся окружности радиуса  $r$ . Эту окружность проведем с центром в точке  $O$ . Эта окружность определяет предельные отклонения реакций грунта при их отклонении от оси вращения кулачка (рисунок 21). Звенья ломаной центров кривизны должны быть таковы, чтобы их продолжения всегда либо пересекали, либо касались окружности радиуса  $r$ .

Например, пусть эта ломаная состоит из шести звеньев (трех звеньев до касания с окружностью и трех – после касания).

Первое звено  $O_1O_2$  проведем на линии, соединяющей точку  $O_1$  и середину  $T_1$  вертикального радиуса  $r$ . Длину звена  $O_1O_2$  примем равной половине  $O_1T_1$ . Получим в результате точку  $O_2$ .

Из точки  $O_1$  кулачок будет описан дугой минимального радиуса  $R_1 = 450$  мм. Из точки  $O_2$  радиусом  $R_2 = 650$  мм.

Этот радиус равен:

$$R_i = R_i + O_jO_f \quad (3)$$

$$R_2 = R_1 + O_1O_2 = 650 \text{ мм}$$

Центр кривизны третьего участка профиля, точку  $O_3$  найдем, разделив  $O_2T_2$  пополам. На третьем участке радиус кривизны равен

$$R_3 = R_1 + O_1O_2 + O_2O_3 = 750 \text{ мм}$$

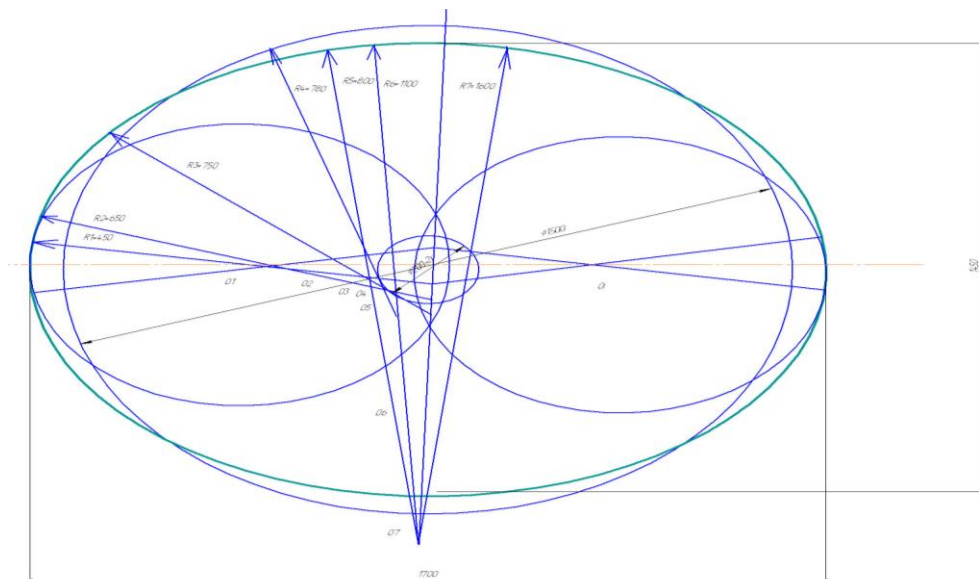


Рисунок 21 - Построение профиля кулачка

Третье звено ломаной центров кривизны получим, соединив точку  $O_3$  с одной из точек на окружности  $r$ .

Радиус кривизны на четвертом участке равен

$$R_4 = R_3 + O_3O_4 = 780 \text{ мм}$$

Аналогично строятся и три других звена ломаной: четвертое, пятое и шестое. Соответствующие радиусы кривизны профилей следующие

$$R_5 = R_4 + O_4O_5 = 800 \text{ мм}$$

$$R_6 = R_5 + O_5O_6 = 1100 \text{ мм}$$

$$R_7 = R_6 + O_6O_7 = 1600 \text{ мм}$$

Как видно из построения наиболее быстро кривизна профиля кулачка меняется в зонах минимального и максимального радиусов. Наибольшая длина дуги будет у среднего значения радиуса.

$$R = 750 \text{ мм}$$

На рисунке 22 показано построение профиля кулачка, удовлетворяющего условию, что нормали пересекают окружность радиуса  $r = 150 \text{ мм}$ . При этом четверть профиля составлена из трех дуг окружностей постоянного радиуса.

Минимальный и максимальный радиусы равны соответственно:

$$R_1 = R_{\min} = 500 \text{ мм}; \quad R_3 = R_{\max} = 1800 \text{ мм}.$$

Третье промежуточное значение радиуса кривизны равно:

$$R_2 = 1000 \text{ мм}$$

Построение проводим в следующей последовательности:

Проводим окружность радиуса  $r$  из центра  $O$ . От точки  $O_2$ , близкой к среднему положению на дуге третьей четверти. Делаем засечку радиусом.

$$R_2 = R_1 + O_1O_2; \quad O_1O_2 = 500 \text{ мм} \quad (4)$$

И находим точку  $O_1$

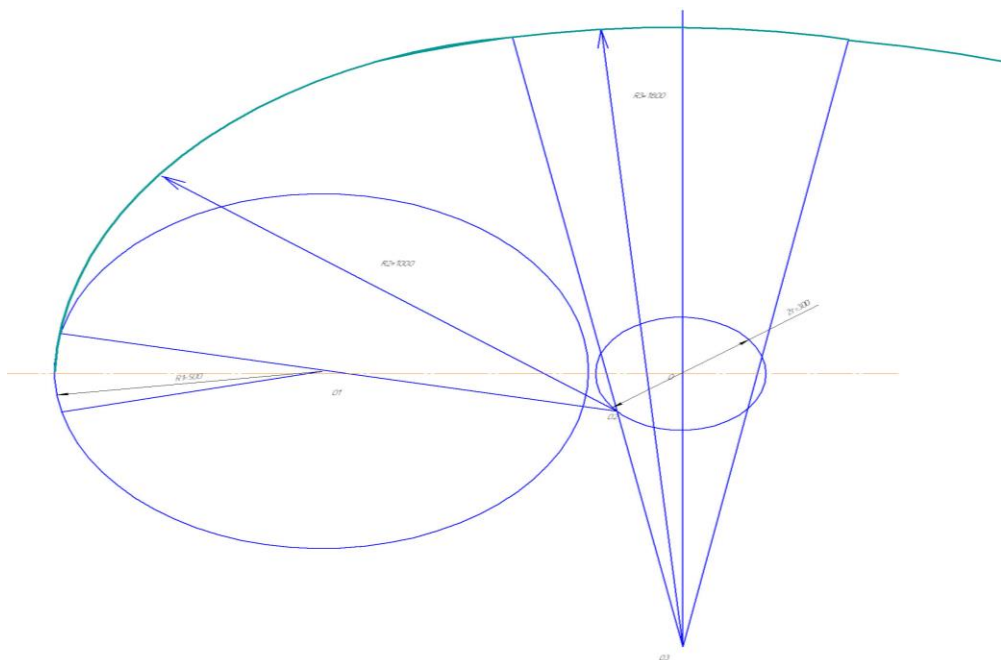


Рисунок 22 - Построение профиля кулачка из трех дуг окружностей

Далее проводим окружность минимального радиуса из центра  $O_1$ . Из центра  $O_2$  проводим дугу радиуса  $R_2$ . Центр  $O_3$  найдем, сделав засечку на вертикальном диаметре радиусом  $O_2O_3$ .

$$R_3 = R_2 + O_3O_2; O_3O_2 = 800 \text{ мм}$$

Выбором центра  $O_2$  и значения  $R_2$  можно варьировать габаритами кулачка.

На рисунке 23 показан вариант кулачка с промежуточным значением радиуса  $R_2 = 800 \text{ мм}$ .

Центр кривизны промежуточного радиуса  $O_2$  выбирается на окружности максимально допустимого плеча. При этом выбор точки  $O_2$  определяет размеры дуг постоянной кривизны в районе большой и малой полуосей кулачка. Точка  $O_2$  может выбираться так, чтобы получать зону постоянного радиуса кривизны в районе большой полуоси большей, чем зона в районе малой полуоси. Это соответствует размерам зон контакта в районах большой и малой полуосей.

Оценка возможных видов деформаций гибкого вальца:

Произведем оценку возможных размеров гибкого вальца при разных случаях нагружения и видах деформации.

В общем случае для кольца, нагруженного в своей плоскости, решение задачи определения силовых факторов в любом поперечном сечении приведено в литературе. Это общее решение и используется для анализа конкретных случаев нагружения кольца.

Внешняя нагрузка образуется радиальной силой  $P_i$ , касательной силой  $T_i$  и изгибающим моментом  $M_i$ .

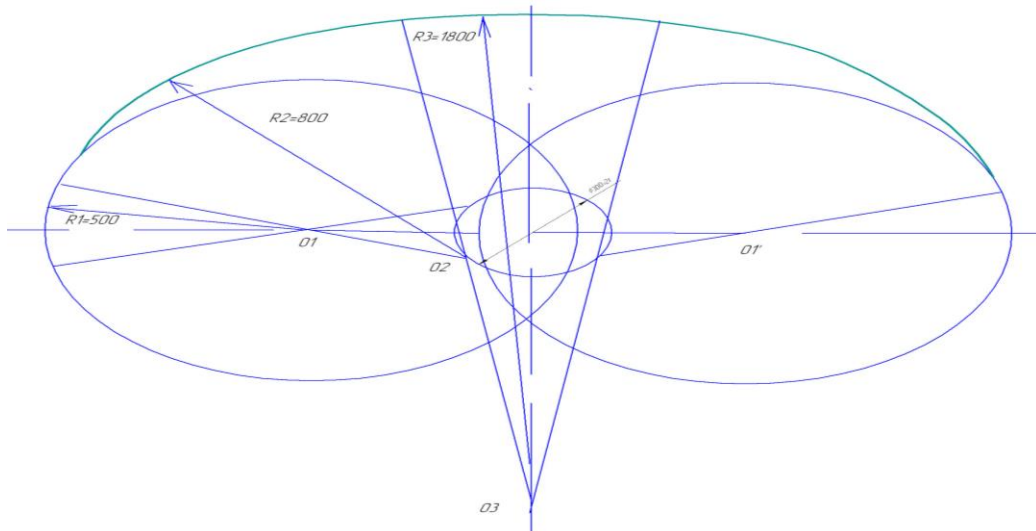


Рисунок 23 - Кулачок с промежуточным значением радиуса  $R_2=800$  мм

На рисунке 24 показано в общем виде нагруженное кольцо. В каждом поперечном сечении  $\varphi$  в общем случае имеем две неизвестные силы  $N_\varphi$  и  $Q_\varphi$  и один неизвестный момент  $M_\varphi$ .

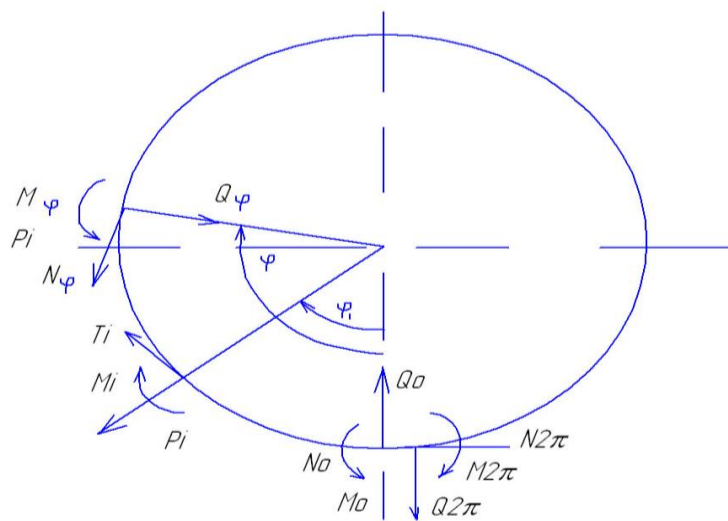


Рисунок 24 - Общий вид нагружения кольца

Все это считается положительным, если направлено как на рисунке 24. нулевое сечение выбирается произвольно и ставится задача найти в этом сечении  $Q_0, N_0, M_0$ .

Силовые факторы в произвольном сечении равны:

$$\begin{aligned}
 N_\varphi &= N_0 \cos \varphi - Q_0 \sin \varphi + \bar{N}_\varphi \\
 Q_\varphi &= N_0 \sin \varphi + Q_0 \cos \varphi + \bar{Q}_\varphi \\
 M_\varphi &= N_0 r (1 - \cos \varphi) + Q_0 r \sin \varphi + M_0 + \bar{M}_\varphi
 \end{aligned}
 \tag{5}$$



где  $\bar{N}_\varphi, \bar{Q}_\varphi$  и  $\bar{M}_\varphi$  - обозначают составляющую внешней нагрузки в величинах  $N_\varphi, Q_\varphi, M_\varphi$ . Примем теперь теорему Кастильяно

$$\frac{\partial U}{\partial N_0} = 0; \quad \frac{\partial U}{\partial Q_0} = 0; \quad \frac{\partial U}{\partial M_0} = 0; \quad (6)$$

В этих выражениях работа формоизменения записывается как

$$U = \frac{1}{2} \left( \oint \frac{N_\varphi^2 r d\varphi}{EF} + k \oint \frac{Q_\varphi^2 r d\varphi}{GF} + \oint \frac{M_\varphi^2 r d\varphi}{EJ} \right) \quad (7)$$

При этом символ обозначает круговой интеграл от 0 до  $\varphi = 2\pi$ . Введем обозначения

$$\frac{1}{EJ} = \alpha'; \quad \frac{1}{GJ_0} = \alpha''; \quad \frac{1}{EF} = \beta'; \quad \frac{1}{GF} = \beta'' \quad (8)$$

при этом равенства (6) запишутся как:

$$\begin{aligned} \beta' \oint N_\varphi \cos \varphi d\varphi + k\beta'' \oint Q_\varphi \sin \varphi d\varphi + \alpha'' \oint M_\varphi r (1 - \cos \varphi) d\varphi &= 0 \\ -\beta' \oint N_\varphi \sin \varphi d\varphi + k\beta'' \oint Q_\varphi \cos \varphi d\varphi + \alpha' \oint M_\varphi r \sin \varphi d\varphi &= 0 \\ \oint M_\varphi d\varphi &= 0 \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} \pi(\beta' + k\beta'' + \alpha' r^2) N_0 + \beta' \oint \bar{N}_\varphi \cos \varphi d\varphi + k\beta'' \oint \bar{Q}_\varphi \sin \varphi d\varphi - \alpha' \oint \bar{M}_\varphi r \cos \varphi d\varphi &= 0 \\ \pi(\beta' + k\beta'' + \alpha' r^2) Q_0 - \beta' \oint \bar{N}_\varphi \sin \varphi d\varphi + k\beta'' \oint \bar{Q}_\varphi \cos \varphi d\varphi + \alpha' \oint \bar{M}_\varphi r \sin \varphi d\varphi &= 0 \end{aligned}$$

$$2\pi M_0 + 2\pi r N_0 + \oint M_\varphi d\varphi = 0 \quad (9)$$

При этом величины  $\bar{N}_\varphi^i, \bar{Q}_\varphi^i$  и  $\bar{M}_\varphi^i$ , которые есть нагрузки в пункте  $i$  для  $0 \leq \varphi \leq \varphi_i$

$$\bar{N}_\varphi^i = 0; \quad \bar{Q}_\varphi^i = 0; \quad M_\varphi^i = 0$$

$$\varphi_i \leq \varphi \leq 2\pi \quad (10)$$

$$\bar{N}_\varphi^i = P_i \sin(\varphi - \varphi_i) - T_i \cos(\varphi - \varphi_i)$$

$$\bar{Q}_\varphi^i = P_i \cos(\varphi - \varphi_i) - T_i \sin(\varphi - \varphi_i) \quad (11)$$

$$\bar{M}_\varphi^i = -P_i r \sin(\varphi - \varphi_i) - T_i r [1 - \cos(\varphi - \varphi_i)] - M_i \quad (12)$$

Так что интегралы в равенствах, записанные с помощью вспомогательных величин  $J_1, J_2, J_3, J_4$  примут вид:

$$\begin{aligned}
 J_1 &= \int_{\varphi_i}^{2\pi} \cos(\varphi - \varphi_i) \cos \varphi d\varphi = \left( \pi - \frac{1}{2} \varphi_i \right) \cos \varphi_i - \frac{1}{2} \sin \varphi_i \\
 J_2 &= \int_{\varphi_i}^{2\pi} \sin(\varphi - \varphi_i) \cos \varphi d\varphi = - \left( \pi - \frac{1}{2} \varphi_i \right) \sin \varphi_i \\
 J_3 &= \int_{\varphi_i}^{2\pi} \cos(\varphi - \varphi_i) \sin \varphi d\varphi = \left( \pi - \frac{1}{2} \varphi_i \right) \sin \varphi_i + \frac{1}{2} \sin \varphi_i - \frac{1}{2} \sin \varphi_i \\
 J_4 &= \int_{\varphi_i}^{2\pi} \sin(\varphi - \varphi_i) \sin \varphi d\varphi = \left( \pi - \frac{1}{2} \varphi_i \right) \cos \varphi_i + \frac{1}{2} \sin \varphi_i
 \end{aligned} \tag{13}$$

Круговые интегралы через эти выражения запишутся как

$$\begin{aligned}
 \oint \bar{N}_\varphi^i \cos \varphi d\varphi &= P_i J_2 - T_i J_1; & \oint \bar{N}_\varphi^i \sin \varphi d\varphi &= P_i J_4 - T_i J_3; \\
 \oint \bar{Q}_\varphi^i \cos \varphi d\varphi &= -P_i J_1 - T_i J_2; & \oint \bar{Q}_\varphi^i \sin \varphi d\varphi &= -P_i J_3 - T_i J_4; \\
 \oint \bar{M}_\varphi^i d\varphi &= -P_i r (1 - \cos \varphi_i) - T_i r [(2\pi - \varphi_i) + \sin \varphi_i] - M_i (2\pi - \varphi_i); \\
 \oint \bar{M}_\varphi^i r \cos \varphi d\varphi &= -P_i r^2 J_2 + T_i r^2 (J_1 + \sin \varphi_i) + M_i r \sin \varphi_i; \\
 \oint \bar{M}_\varphi^i r \sin \varphi d\varphi &= -P_i r^2 J_4 + T_i r^2 [J_3 + (1 - \cos \varphi_i)] + M_i r (1 - \cos \varphi_i).
 \end{aligned} \tag{14}$$

На основе условий равновесия:

$$\begin{cases}
 \sum_{i=1}^n P_i * \cos \varphi_i - \sum_{i=1}^n T_i * \sin \varphi_i = 0 \\
 \sum_{i=1}^n P_i * \sin \varphi_i + \sum_{i=1}^n T_i * \cos \varphi_i = 0 \\
 \sum_{i=1}^n M_i + \sum_{i=1}^n T_i * r = 0
 \end{cases} \tag{15}$$

Для самих интегралов (14) получаем равенства

$$\begin{aligned}
 \oint \bar{N}_\varphi \cos \varphi d\varphi &= \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} \varphi_i * P_i \sin \varphi_i + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} \varphi_i * T_i \cos \varphi_i + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} T_i \sin \varphi_i \\
 \oint \bar{N}_\varphi \sin \varphi d\varphi &= - \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} \varphi_i * P_i \cos \varphi_i + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} \varphi_i * T_i \cos \varphi_i + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} P_i \sin \varphi_i \\
 \oint \bar{Q}_\varphi \cos \varphi d\varphi &= \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} \varphi_i * P_i \cos \varphi_i - \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} \varphi_i * T_i \sin \varphi_i + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} P_i \sin \varphi_i
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\oint \bar{Q}_\varphi \sin \varphi d\varphi &= \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} \varphi_i * P_i \sin \varphi_i + \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} \varphi_i * T_i \cos \varphi_i - \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} T_i \sin \varphi_i \\
\oint \bar{M}_\varphi d\varphi &= -\sum_{i=1}^n P_i * r + \sum_{i=1}^n \varphi_i * T_i * r + \sum_{i=1}^n \varphi_i * M_i \\
\oint \bar{M}_\varphi r * \cos \varphi d\varphi &= -\sum_{i=1}^n \frac{1}{2} \varphi_i * P_i * r^2 \sin \varphi_i - \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} \varphi_i * T_i * r^2 \cos \varphi_i + \\
&+ \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} T_i * r^2 \sin \varphi_i + \sum_{i=1}^n M_i * r \sin \varphi_i \\
\oint \bar{M}_\varphi r * \sin \varphi d\varphi &= -\sum_{i=1}^n \frac{1}{2} \varphi_i * P_i * r^2 \cos \varphi_i - \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} \varphi_i * T_i * r^2 \sin \varphi_i - \\
&- \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} T_i * r^2 \cos \varphi_i - \sum_{i=1}^n M_i * r \cos \varphi_i
\end{aligned}$$

Подставляем в (9) и используем условия равновесия (15), заменяя  $N_0$ ,  $Q_0$  и  $M_0$  через  $N_{2\pi}$ ,  $Q_{2\pi}$ ,  $M_{2\pi}$ .

$$\begin{aligned}
N_{2\pi} + \sum_{i=1}^n \frac{\varphi_i}{2\pi} P_i \sin \varphi_i + \sum_{i=1}^n \frac{\varphi_i}{2\pi} T_i \cos \varphi_i - \sum_{i=1}^n \frac{\mu}{2\pi} T_i \sin \varphi_i - \sum_{i=1}^n \frac{v M_i}{2\pi} \sin \varphi_i &= 0 \\
Q_{2\pi} + \sum_{i=1}^n \frac{\varphi_i}{2\pi} P_i \cos \varphi_i - \sum_{i=1}^n \frac{\varphi_i}{2\pi} T_i \sin \varphi_i - \sum_{i=1}^n \frac{\mu}{2\pi} T_i \cos \varphi_i - \sum_{i=1}^n \frac{v M_i}{2\pi} \cos \varphi_i &= 0 \\
M_{2\pi} + r N_{2\pi} - \sum_{i=1}^n \frac{P_i * r}{2\pi} + \sum_{i=1}^n \frac{\varphi_i}{2\pi} T_i * r + \sum_{i=1}^n \frac{\varphi_i}{2\pi} M_i &= 0
\end{aligned} \tag{16}$$

$$\text{где } \mu = \frac{-\beta' + k\beta'' + \alpha' r^2}{\beta' + k\beta'' + \alpha' r^2}; \quad v = \frac{\alpha' r^2}{\beta' + k\beta'' + \alpha' r^2}$$

Рассмотрим теперь разрезанное при  $\varphi = 0$  кольцо под действием заданной внешней нагрузки и под действием справа и слева от сечения  $\varphi = 0$  внутренних сил  $N_0$ ,  $Q_0$ ,  $M_0$ ,  $N_{2\pi}$ ,  $Q_{2\pi}$ ,  $M_{2\pi}$ . Заменяем теперь эту систему сил другой, как на рисунке 25. При этом выполняются условия:

1. Все силы и моменты умножаем на величину  $\frac{\varphi_i}{2\pi}$ , так что внутренние силовые факторы слева от сечения  $N_0$ ,  $Q_0$ ,  $M_0$  обращаются в ноль. А справа остаются теми же ( $N_{2\pi}$ ,  $Q_{2\pi}$ ,  $M_{2\pi}$ );

2. На каждую уменьшенную силу вдоль радиуса  $\frac{\varphi_i}{2\pi} P_i$  добавим момент в центре кольца -  $\frac{P_i * r}{2\pi}$ ;

3. Каждой уменьшенной тангенциальной силе  $\frac{\varphi_i}{2\pi} T_i$  добавим радиальную силу на том же месте -  $\frac{\mu T_i}{2\pi}$ ;

4. Каждому уменьшенному моменту  $\frac{\varphi_i}{2\pi} M_i$  добавим радиальную силу -  $\frac{\nu M_i}{\pi r}$  на том же сечении  $\varphi_i$ .

Как видим на основании равенства (17) новая система сил образует равновесную систему (рисунок 25).

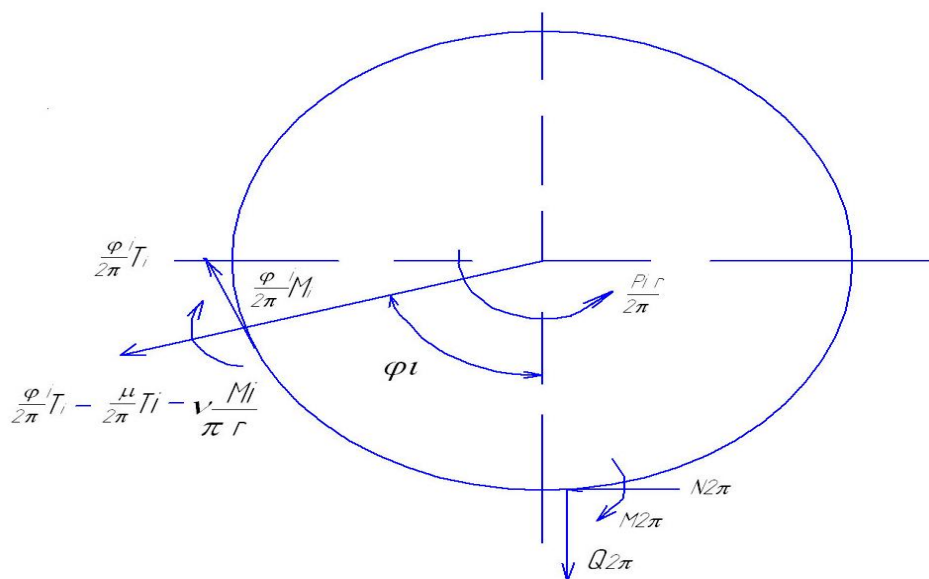


Рисунок 25 - Кольцо нагруженное заменяющей системой сил

Теперь можно получить выражение для каждого из неизвестных, действующих справа от сечения  $\varphi_i=0$  силовых факторов. При этом выполняются условия:

1. Сумма всех сил в направлении  $N_{2\pi}$  равна нулю.
2. Сумма всех сил в направлении  $Q_{2\pi}$  равна нулю.
3. Сумма всех моментов относительно точки  $\varphi = 0$  равна нулю.

### 3.3 Построение эпюр напряжений и определение деформаций плоских колец

#### 3.3 Расчет кольца, нагруженного двумя силами

Кольцо, нагруженное двумя противоположными силами и деформация, которая при этом вызывается, показаны на рисунке 26. Этот случай нагружения можно считать предельным при рассмотрении гибкого вальца, надетого на кулачек. Предельным в том смысле, что нагрузка на ролики вдоль профиля принимается распределенной не по какому-то закону, например, синусоидальному, а она принимается сосредоточенной на двух роликах, расположенных на большой полуоси кулачка. Остальные ролики считаются

только поддерживающими. Этот случай дает наименьшую нагруженность гибкого колеса. И полученный расчет может служить оценочным для выбора толщины гибкого колеса и получения необходимых радиусов кривизны вальца.

Для получения эпюр с силовыми факторами в поперечном сечении сведем рассматриваемую задачу к статически определимой. Для этого разрежем кольцо в точке  $A$  и по формулам 11 получим выражения  $N_{2\pi}$ ,  $Q_{2\pi}$ ,  $M_{2\pi}$ .

Осевая сила  $N_{2\pi}$ , так как на кольцо действуют лишь радиальные силы в сечениях  $\varphi = 0$  и  $\varphi = \pi$  и отсутствуют тангенциальные силы и моменты запишутся как  $N_{2\pi} = -\sum_{i=1}^n \frac{\varphi_i}{2\pi} P_i \sin \varphi_i$

Первая сила приложена в сечении  $\varphi = 0$  и вторая сила приложена в сечении  $\varphi = \pi$ . Поэтому  $N_{2\pi} = 0$

Выражение для поперечной силы имеет вид

$$Q_{2\pi} = -\sum_{i=1}^n \frac{\varphi_i}{2\pi} P_i \cos \varphi_i = -P * \frac{1}{2} \cos \pi = \frac{P}{2} \quad (17)$$

Итак  $Q_{2\pi} = \frac{P}{2}$

Наконец момент в сечении  $\varphi = 2\pi$  равен

$$M_{2\pi} = -rN_{2\pi} + \sum_{i=1}^n \frac{P_i * r}{2\pi} = 0 + \frac{2Pr}{2\pi} = \frac{Pr}{\pi} \quad (18)$$

Окончательно  $M_{2\pi} = \frac{Pr}{\pi}$

Для построения эпюр различных силовых факторов рассмотрим статически определимую задачу, а именно полукольцо, нагруженное, как показано на рисунок 26. внешней нагрузкой будет являться поперечная сила  $Q = -\frac{P}{2}$  и изгибающий момент  $M = \frac{Pr}{\pi}$ . В верхней части, с другой стороны кольцо заделано.

Запишем в произвольном сечении  $\varphi$  значения продольной силы, поперечной силы и изгибающего момента. Для этого воспользуемся зависимостью (5) и (10). Продольная сила

$$N_{\varphi} = N_0 \cos \varphi - Q_0 \sin \varphi + \bar{N}_{\varphi} = 0 + \frac{P}{2} \sin \varphi + 0 \quad (19)$$

$$N_{\varphi} = \frac{P}{2} \sin \varphi$$

Кольцо будет всюду растянуто.

Поперечная сила

$$Q_\varphi = N_0 \sin \varphi + Q_0 \cos \varphi + \bar{Q}_\varphi = 0 - \frac{P}{2} \cos \varphi + 0 \quad (20)$$

$$Q_\varphi = -\frac{P}{2} \cos \varphi$$

Изгибающий момент

$$M_\varphi = N_0 r (1 - \cos \varphi) + Q_0 r \sin \varphi + M_0 + \bar{M}_\varphi = 0 - \frac{P}{2} r \sin \varphi + \frac{Pr}{\pi} \quad (21)$$

$$M_\varphi = \frac{Pr}{\pi} - \frac{P}{2} r \sin \varphi$$

При  $\varphi = 0$   $M_\varphi = \frac{Pr}{\pi} = 0,318 Pr$

При  $\varphi = \frac{\pi}{2}$   $M_\varphi = \frac{Pr}{2} \left( \frac{2}{\pi} - 1 \right) = 0,182 Pr$

Эпюры продольных сил, поперечных сил и изгибающих моментов показаны на рисунке 27.

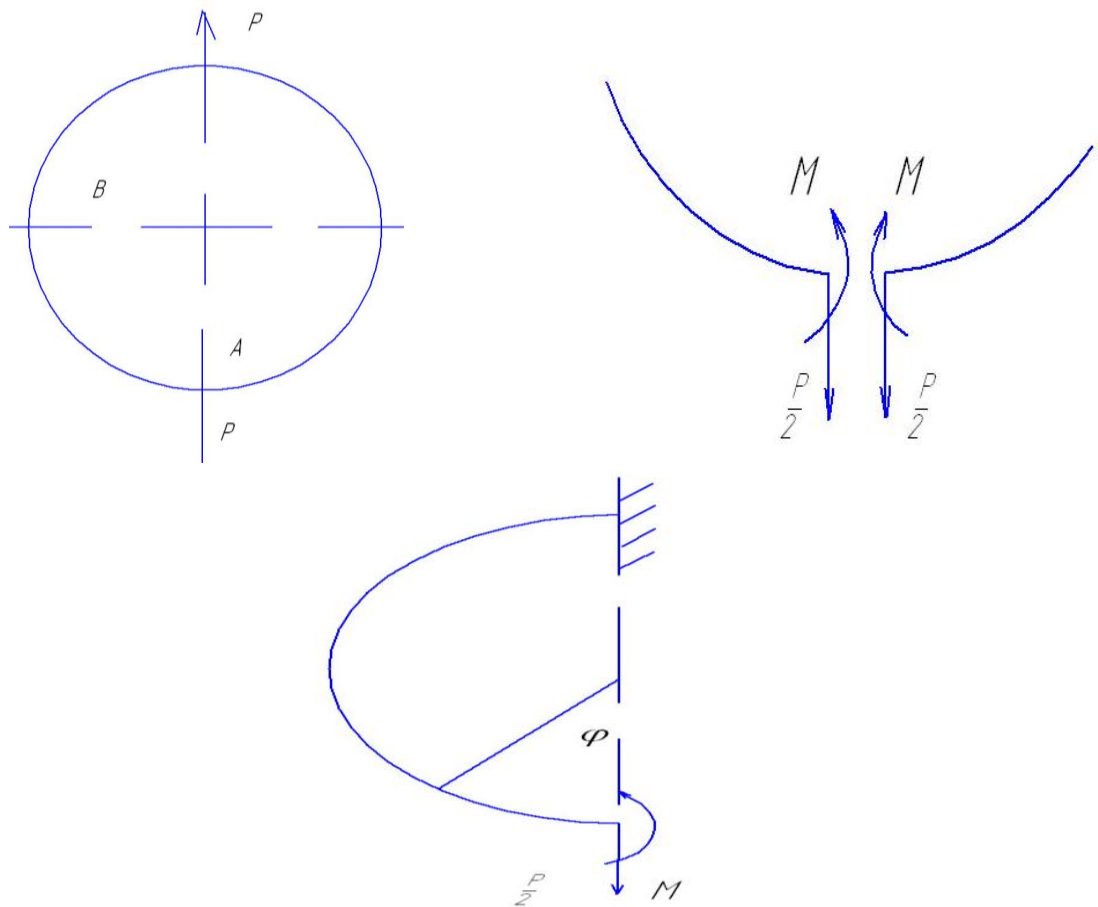


Рисунок 26 - Деформации в нагруженном кольце, вызванные двумя противоположными силами

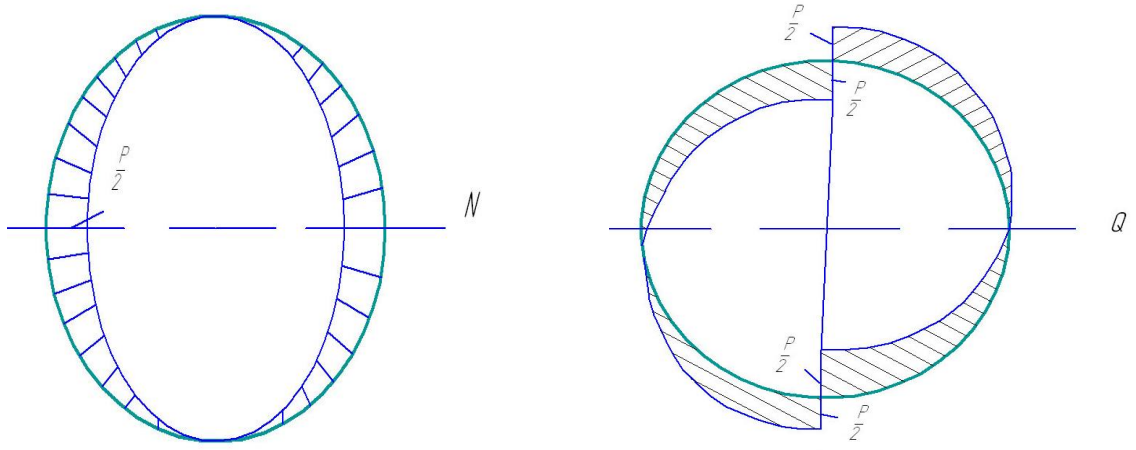


Рисунок 27 - Эпюры изгибающих моментов  $M$ , продольных  $N_\varphi$  и поперечных  $Q$  сил

### 3.3.1. Определение перемещений

Поскольку размеры поперечного сечения бруса малы по сравнению с радиусом кривизны его оси, энергия деформации при изгибе определится уравнением (Тимошенко С.П.)

$$U = \int_0^s \frac{M^2 ds}{2EJ_z} \quad (22)$$

Здесь интегрирование распространяется на всю длину бруса. Перемещение точки приложения какой-либо силы  $P$  в направлении ее действия по теореме Кастильяно равно  $\delta = \frac{\partial U}{\partial P}$

В нашем случае найдем перемещение для двух точек: для точки с  $\varphi = 0$  и для точки  $\varphi = \frac{\pi}{2}$ .

Найдем сначала перемещение для точки  $A$  ( $\varphi = 0$ ) в направлении действия силы  $\frac{P}{2}$ .

Момент равен

$$M_\varphi = -P_A r \sin \varphi + \frac{Pr}{\pi} \quad (23)$$

Производная по силе  $\frac{\partial M}{\partial P_A} = -r \sin \varphi$

Перемещение сечения  $A$  по направлению вертикали равно:

$$\begin{aligned}
\delta &= \frac{d}{dP_A} \int_0^\pi \frac{M^2 r d\varphi}{2EJ_Z} = \frac{1}{EJ_Z} \int_0^\pi M \frac{dM}{dP_A} r d\varphi = \frac{1}{EJ} \int_0^\pi \left( \frac{Pr}{\pi} - \frac{P}{2} r \sin \varphi \right) (-r \sin \varphi) r d\varphi = \\
&= \frac{Pr^3}{EJ} \int_0^\pi \left( -\frac{1}{\pi} + \frac{1}{2} \sin \varphi \right) \sin \varphi d\varphi = \frac{Pr^3}{EJ} \left( \frac{1}{r} \int_0^\pi \sin^2 \varphi d\varphi - \frac{1}{\pi} \int_0^\pi \sin \varphi d\varphi \right) = \\
&= \frac{Pr^3}{EJ} \left( \frac{1}{2} \frac{\pi}{2} - \frac{1}{\pi} 2 \right) = \frac{Pr^3}{EJ} \left( \frac{\pi}{4} - \frac{2}{\pi} \right) = 0,149 \frac{Pr^3}{EJ}
\end{aligned}$$

Таким образом, перемещение (увеличение диаметра) при  $\varphi = 0$ .

$$\delta_{\varphi=0} = 0,149 \frac{Pr^3}{EJ} \quad (24)$$

Рассмотрим теперь перемещение при  $\varphi = \frac{\pi}{2}$ . Приложим в этом сечении силу  $Q$ , которую затем приравняем к нулю – рисунке 28.

Момент в произвольном сечении

$$M_\varphi = -\frac{P}{2} r \sin \varphi + \frac{Pr}{\pi} - Qr \sin \left( \varphi - \frac{\pi}{2} \right) \quad (25)$$

Производная по силе  $\frac{\partial M}{\partial Q} = -r \sin \varphi \left( \varphi - \frac{\pi}{2} \right)$

Перемещение сечения  $B$  по направлению горизонтали равно

$$\begin{aligned}
\delta_{\varphi=\frac{\pi}{2}} &= \frac{Pr^3}{EJ} \int_{\frac{\pi}{2}}^\pi \left( \frac{1}{\pi} - \frac{1}{2} \sin \varphi \right) \left( -\sin \left( \varphi - \frac{\pi}{2} \right) \right) d\varphi = \frac{Pr^3}{EJ} \left( \frac{1}{2} \int_{\frac{\pi}{2}}^\pi \sin \varphi \cos \varphi d\varphi - \frac{1}{\pi} \int_{\frac{\pi}{2}}^\pi \cos \varphi d\varphi \right) = \\
&= \frac{Pr^3}{EJ} \left( \frac{1}{2} \left( 0 - \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{\pi} (0 - 1) \right) = \frac{Pr^3}{EJ} \left( \frac{1}{\pi} - \frac{1}{4} \right)
\end{aligned} \quad (26)$$

Изменение диаметра равно

$$\delta = 2\delta_{\varphi=\frac{\pi}{2}} = 2 \frac{Pr^3}{EJ} \left( \frac{1}{\pi} - \frac{1}{4} \right) = 0,137 \frac{Pr^3}{EJ_Z} \quad (27)$$

$$\delta = 0,137 \frac{Pr^3}{EJ_Z}$$



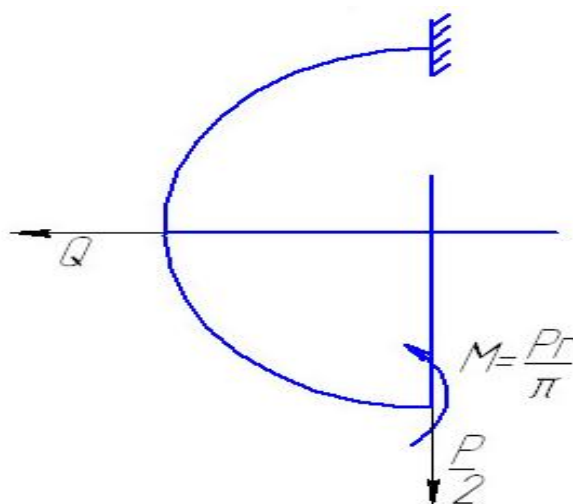


Рисунок 28 - Схема сил и моментов для расчета перемещений

### 3.4 Оценочные расчеты гибкого вальца

На рисунке 29 показан гибкий валец и указаны основные его размеры. Предел выносливости у обычных сталей колеблется от  $\pm 20$  до  $\pm 40$  кг/мм<sup>2</sup>. У сталей специальных, например, с составом С = 0,3%, Mn = 0,56%, Ni = 4,3%, Cr = 1,4% он может достигать значений  $\pm 50 \dots \pm 70$  кг/мм<sup>2</sup>.

Исходя из этих величин напряжений, и определим необходимую толщину кольца, которая позволит, не превышая указанных напряжений менять радиус кривизны кольца в 10-15 раз.

Найдем, например, какую толщину листа можно свернуть из прямого в круглый радиус в 1 м.

Как известно, при изгибе балки моментом (чистый изгиб) радиус кривизны зависит от момента

$$\frac{M}{EJ} = \frac{1}{R} \quad (28)$$

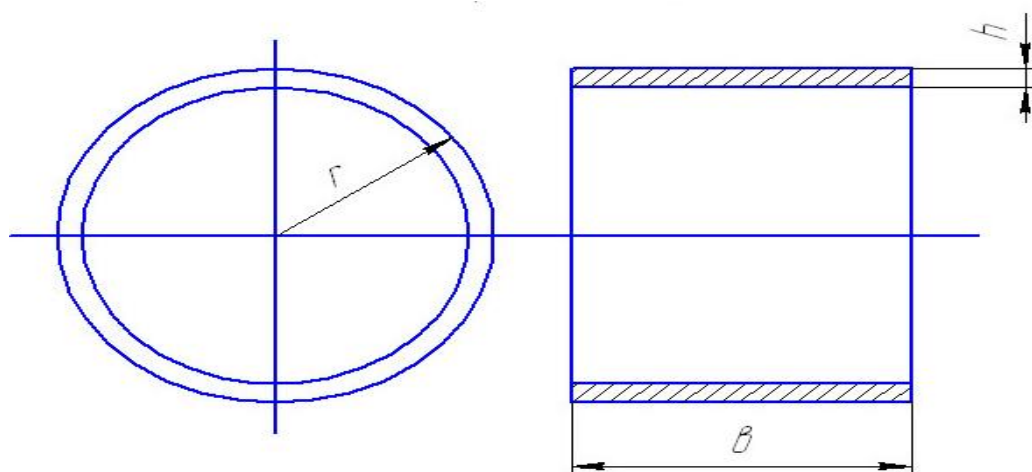


Рисунок 29 - Условные обозначения размеров кольца

Подставляя сюда выражения для напряжений, момента инерции сечения, получим

$$M = \sigma \frac{\epsilon h^2}{6}; \quad J = \frac{\epsilon h^3}{12}; \quad \frac{1}{R} = \frac{[\sigma] \frac{\epsilon h^2}{6}}{E * \frac{\epsilon h^3}{12}} = \frac{2[\sigma]}{Eh}; \quad h = \frac{2[\sigma]R}{E} \quad (29)$$

Для стали с  $[\sigma] = 500 \text{ МПа}$ .

$$h = \frac{2[\sigma]R}{E} = \frac{2 * 5000}{2 * 10^6} * 100 = 0,5 \text{ см} = 5 \text{ мм}$$

Если сталь  $[\sigma] = 700 \text{ МПа}$ .

$$h = \frac{2[\sigma]R}{E} = \frac{2 * 7000}{2 * 10^6} * 100 = 0,7 \text{ см} = 7 \text{ мм}$$

Найдем, до какого радиуса эти толщины позволят изогнуть кольцо с 1-го метра кривизны.

Изменение кривизны в этом случае определяется по формуле

$$\frac{1}{R} \pm \frac{1}{r} = -\frac{M}{EJ} = -\frac{2[\sigma]}{Eh} \quad (30)$$

1)  $h = 5 \text{ мм}$

$$\frac{2[\sigma]}{Eh} = \frac{2 * 5000}{2 * 10^6 * 0,5} = \frac{1}{100}$$

$$\frac{1}{R} + \frac{2[\sigma]}{Eh} = \frac{1}{r}; \quad \frac{1}{r} = \frac{1}{100} + \frac{1}{100} = \frac{2}{100}; \quad r = 50 \text{ см} = 0,5 \text{ м}$$

2)  $h = 7 \text{ мм}$

$$\frac{2[\sigma]}{Eh} = \frac{2 * 7000}{2 * 10^6 * 0,7} = \frac{1}{100}; \quad r = 0,5 \text{ м}$$

Рассмотрим, какие силы вызывают при  $h = 7 \text{ мм}$  изменение кривизны с  $r = 1 \text{ м}$  до  $r = 0,5 \text{ м}$ . (Рисунок 30).

Как уже указывалось, напряжение в кольце при этом равно  $[\sigma] = 700 \text{ МПа}$ .

$$M = [\sigma] \frac{\epsilon h^2}{6}; \quad (31)$$

$$M = 7000 \frac{100 * 0,7^2}{6} = 57,2 * 10^3 \text{ кг см} = 570 \text{ кН см}$$

Отсюда  $P = \frac{57,2 * 10^3}{0,318 * 100} = 1798 \text{ кГ}$

При этом возникнут деформации вдоль вертикального диаметра

$$\delta_a = 0,149 \frac{Pr^3}{EJ}; \quad (32)$$

$$\delta_a = 0,149 \frac{1798 * 100^3}{2 * 10^6 * 2,858} = 46,87 \text{ см} = 469 \text{ мм}$$

$$J = \frac{eh^3}{12}; \quad (33)$$

Максимальный момент в зоне наибольшей кривизны  $M = 0,318Pr$

$$J = \frac{100 * 0,7^3}{12} = 2,858 \text{ см}^4$$

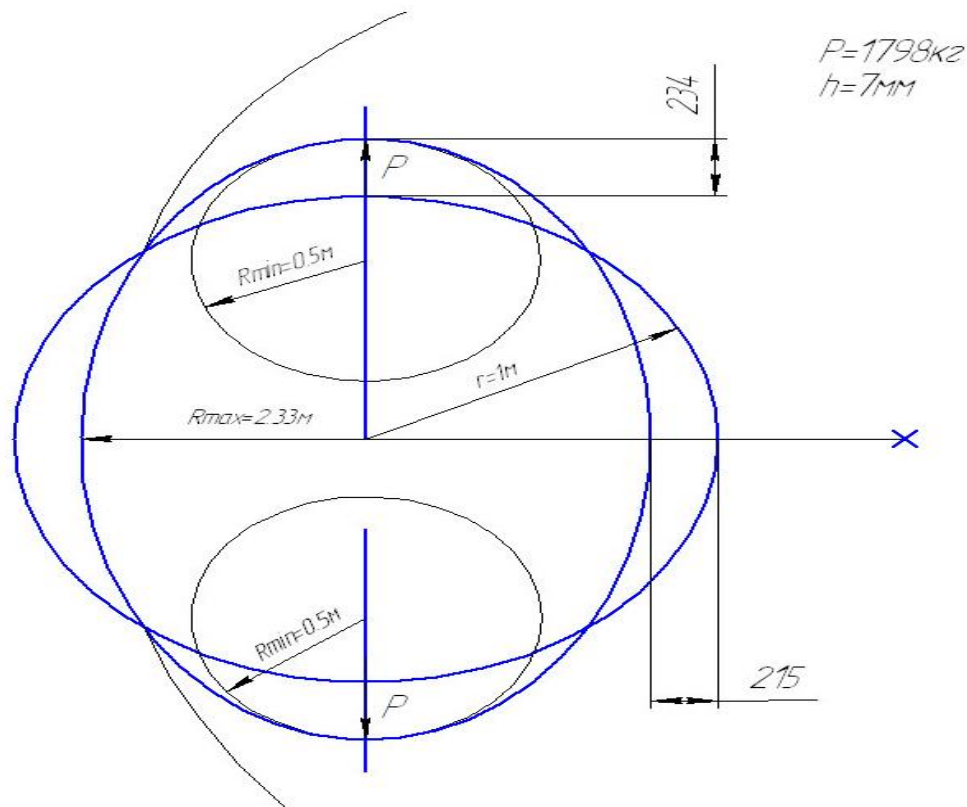


Рисунок 30 - Деформация кольца, вызванная различными силами

Деформации по горизонтальному диаметру

$$\delta_r = 0,137 \frac{Pr^3}{EJ}; \quad (34)$$

$$\delta_r = 0,137 \frac{1798 * 100^3}{2 * 10^6 * 2,858} = 43,1 \text{ см} = 431 \text{ мм}$$

Найдем теперь кривизну кольца по этим двум направлениям:  
По вертикальному диаметру

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r} + \frac{0,318 Pr}{EJ} \quad (35)$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{100} + \frac{0,318 * 1798 * 100}{2 * 10^6 * 2,858} = \frac{2}{100}$$

Как и ожидалось, наименьший радиус кольца равен  $R_{\min} = 0,5 м$

По горизонтальному диаметру

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{r} + \frac{0,182 Pr}{EJ}; \quad (36)$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{100} + \frac{0,182 * 1798 * 100}{2 * 10^6 * 2,858} = \frac{1}{100} - \frac{1}{175,4}$$

$$R_{\max} = 2,33 м$$

Наименьший радиус кривизны относится к наибольшему как 1:4,6.  
систему сил.

Подпор гибкого колеса большим числом роликов может увеличить  $R_{\max}$  к росту продольных сил и дополнительному нагружению кольца.

В нашем случае наибольшие напряжения растяжения были в зоне минимального диаметра и были равны

$$\sigma_P = \frac{P}{2F}; \quad (37)$$

$$\sigma_P = \frac{1798}{2 * 100 * 0,7} = 1,2 МПа$$

Как видим, нормальные напряжения не достигают значительной величины.

### 3.5 Расчет на производительность

Техническая производительность (м<sup>3</sup>/ч) - это наибольшая возможная производительность катка при непрерывной работе в данных конкретных условиях

Техническая производительность катка определяется:

$$\Pi_{\text{тех}} = \frac{1000 \cdot (e - a) \cdot V_{cp}}{n} \cdot h_0, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (38)$$

где  $e$  – ширина уплотнения,  $e = 1,7 м$ ;

$a$  – перекрытие проходов,  $a = 0,2$  м;

$V_{\text{ср}}$  – средняя скорость передвижения катка,  $V_{\text{ср}} = 3$  км/ч;

$n$  – число проходов по одному месту,

$n = 5$ ;

$h_0$  – толщина уплотняемого слоя, м.

$h_0 = 0,4$

$$\Pi_{\text{тех}} = \frac{1000 \cdot (2,0 - 0,2) \cdot 3}{5} \cdot 0,4 = 432 \text{ м}^3 / \text{ч}$$

### 3.6 Расчет деталей рабочего органа для уплотнения асфальта на прочность

#### 3.6.1 Расчет вала на прочность

- Сумма моментов относительно точки А:

$$\sum M_A = 0;$$

$$F_{\text{общ.1}} \cdot 0,396 - F_1 \cdot 0,396 + F_{\text{общ.3}} \cdot 0,816 - F_2 \cdot 0,816 + F_{\text{общ.4}} \cdot 1,212 - R_B \cdot 1,212 - F_y \cdot 1,362 + M_{\text{кр.}}$$

$$R_B = \frac{1,51 - 1,10 + 3,11 - 2,28 + 4,62 - 36,2 + 8,6}{1,212} = -17,9$$

$$R_B = -17,9$$

- Сумма моментов относительно точки В:

$$\sum M_B = 0;$$

$$-F_{\text{общ.1}} \cdot 1,212 + R_A \cdot 1,212 - F_{\text{общ.2}} \cdot 0,816 + F_1 \cdot 0,816 - F_{\text{общ.3}} \cdot 0,396 + F_2 \cdot 0,396 - F_y \cdot 0,15 + M_{\text{кр.}}$$

$$R_A = \frac{4,62 + 3,11 - 2,28 + 1,51 - 1,10 + 4 - 8,6}{1,212} = 1,05$$

$$R_A = 1,05$$

$$\text{Проверка: } \sum M_C = -F_{\text{общ.2}} \cdot 0,420 + F_1 \cdot 0,420 + R_A \cdot 0,816 - F_{\text{общ.1}} \cdot 0,816 + \quad (39)$$

$$F_{\text{общ.4}} \cdot 0,396 + R_B \cdot 0,396 + M_{\text{кр}} - F_y \cdot 0,546 = -1,6 + 1,17 + 0,85 - 3,1 + 1,5 + 7,1 + 8,6 - 14,5 = 0$$

- Построение эпюр

Участок 1 сечение 1-1 при  $0 \leq z \leq 0,4$

$$M_1 = R_{Ay} \cdot z_1; \quad (40)$$

при  $z_1=0$   $M_1=0$  кН·м;

при  $z_1=0,4$   $M_1= 3,44$  кН·м

- Участок 2 сечение 2-2

$M_2=4,56$  кН·м

- Участок 3 сечение 3-3

$M_3= -7,4$  кН·м

- Участок 4 сечение 4-4 при  $0 \leq z \leq 0,5$

$$M_4= F_2 * 0,5 - F_{\text{общ}2} * 0,5 \quad (41)$$

$$M_4= -1,35$$

На рисунке 31 указано построение эюр.

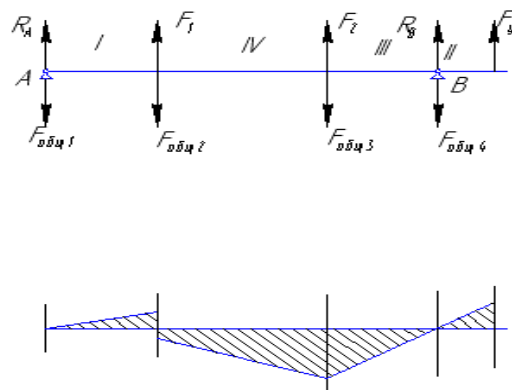


Рисунок 31 - Построение эюр

### 3.6.2 Расчет шлицевого соединения

В данном случае шлицевое соединение работает на смятие, поэтому расчет проводим следующим образом.

Условие прочности шлицевого соединения

$$\frac{M_{\text{кр max}}}{\varphi \cdot F \cdot l \cdot r_{\text{CP}}} \leq [\sigma_{\text{CM}}], \quad (42)$$

где  $M_{\text{кр max}}$  - наибольший допустимый крутящий момент, кгс·мм;

$\varphi$  - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения усилий по поверхности зубьев ( $\varphi=0,7 \dots 0,8$ );

F-площадь всех боковых поверхностей зубьев, м<sup>2</sup>.

$$F = z \left[ \frac{D_e - d_a}{2} - (f + r) \right] \quad (43)$$

$z$  - число зубьев;

$D_e$  - наружный диаметр зубьев вала, мм;

$d_a$  - диаметр впадин зубьев вала, мм;

$r$  - радиус закругления, мм;

$f$  - радиус фаски.

Средний радиус  $r_{cp}$ , мм определяем по формуле:

$$r_{cp} = \frac{D_d + d_a}{4} \quad (44)$$

$$r_{cp} = \frac{70 + 64}{4} = 33,5 \text{ мм.}$$

Площадь боковой поверхности зубьев:

$$F = 10 \left[ \frac{70 - 64}{2} - (0,4 + 0,3) \right] = 23 \text{ мм}^2$$

Тогда напряжение смятия будет равно:

$$\sigma_{см} = \frac{8,6 \cdot 10^3}{0,8 \cdot 23 \cdot 50 \cdot 33,5} = 2,7 \text{ Мпа.}$$

Как видно из расчета, напряжение смятия меньше допустимого напряжения, т.е. условие выполняется.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дипломной работе произведен анализ конструкций, разрушающих асфальтовое покрытие, проведен патентно-технический обзор и анализ уплотняющего оборудования; установлены функциональные зависимости между параметрами рабочего оборудования катка и напряженно-деформированного состояния уплотняемого материала; произведены расчеты, способствующие повышению эффективности использования основных узлов и агрегатов проектируемой конструкции.

Предлагаемый каток позволяет бесступенчато менять контактные давления вальца на материал, а при установке вибровозбудителя – динамически воздействовать на уплотняемый материал, тем самым, создавая максимальную эффективность уплотнения, снижая структурное сопротивление материала деформированию и оптимально дозируя величину контактного давления, что позволит наиболее эффективно уплотнять дорожные материалы.

В целом использование разрабатываемого катка способно существенно повлиять на темпы строительства дорожных сооружений и расширение сети автомобильных дорог в нашей стране и за рубежом. Применение катка с изменяемой геометрией уплотняющих вальцов позволит интенсифицировать процесс уплотнения дорожно-строительных материалов и улучшить условия работы машиниста.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Алексеева Т.В., Артемьев А.К. Дорожные машины, ч.1. М.:Машиностроение, 1982
- 2 Алексеева Т.В., Артемьев А.К. Дорожные машины, ч.2. М.:Машиностроение, 1982
- 3 Костенко Н.А. Сопротивление материалов. М.: Высш. шк.,2004
- 4 Анурьев В. И Справочник конструктора машиностроителя, М.:Машиностроение, 1980
- 5 Справочник технолога-машиностроителя под ред. Т.В.Касиловой. М.,1978
- 6 Дудкин М.В. Выбор посадок и расчет размерных цепей. Уч.пособие. У-Ка, ВКГТУ, 2003.
- 7 А.Е. Шейнблит Курсовое проектирование деталей машин. М.: Высш.шк.,1991;
- 8 В.И. Баловнев, А.Б. Ермилов Дорожно-строительные машины и комплексы. М., Машиностроение, 1988;
- 9 Орлов П.И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. М.: Машиностроение,1988;
- 10 Новиков И.В., Акильев С.А. Справочник по ремонту дорожных машин, М.: Машиностроение, 1971;
- 11 Свешников В.К. Гидрооборудование кн.1 Гидронасосы и гидродвигатели. М.:Издат. центр «Техинформ» МАИ, 2001.

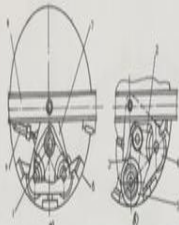
**ВАЛЦЬ ДОРОЖНОГО КАТКА**  
 в.д. СССР № 67523  
 Авторы: ИИИ «Харьковец»



1 - обечайка, 2 - резинка ленты, 3 - пазы на валу, 4 - фланцы

**ВАЛЦЬ ДОРОЖНОГО КАТКА**  
 в.д. № 9550

Авторы: Свиридов В.А., Иванова С.А., Работина А.М.



1 - паронитовый, 2,3 - стальные пружины, 4,5 - опорные валочки, 6 - гибкая полиуретановая обечайка, 7 - фланец, 8 - рама, 9 - гидромотор

**ДОРОЖНЫЙ КАТОК С ВАЛЬЦОМ ПЕРЕМЕННОГО РАДИУСА КРИВИЗНЫ**

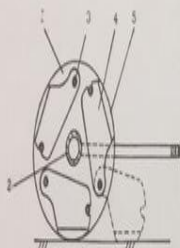
в.д. СССР № 1096330

Авторы: Петров А.В., Хренов П.



1 - упругая обечайка, 2 - опорные ролики, 3 - гидромотор

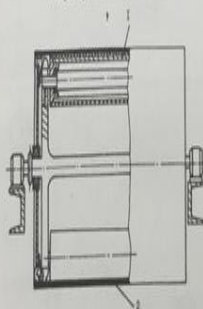
**ИМПУЛЬСНЫЙ КАТОК**  
 Патент США № 4354799



1 - диск, 2 - ось, 3 - ось, 4 - вращающиеся штифты, 5 - криволинейный профиль

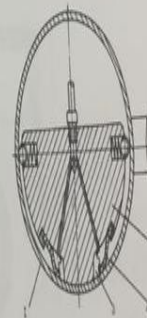
**ВАЛЦЬ С ДИНАМИЧЕСКИМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ**  
 в.д. СССР № 1090987

Авторы: Дрицко С.П., Давыдов А.Л.



1 - валочка, 2 - обечайка из упругого материала

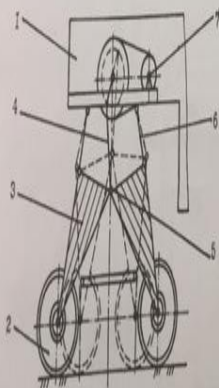
**ВАЛЦЬ ВИБРАЦИОННОГО КАТКА**  
 в.д. СССР № 924216  
 Авторы: Шевцов С.А., Петров А.М.



1 - цилиндрическая обечайка, 2 - вращающаяся масса с бойком, 3 - ось, 4 - штифт

**КАТОК ЦИКЛИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ**  
 в.д. СССР № 1470833

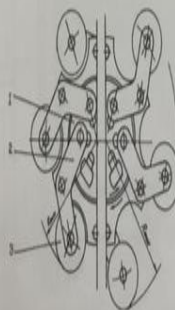
Авторы: Григорьев В.А., Власов С.П., Топкалин М.И.



1 - рама, 2 - секция вальцов, 3 - тяга, 4 - штурвал кривошипно-шатунного механизма, 5 - шарнир, 6 - стержни, 7 - вал привода

**РАБОЧИЙ ОРГАН ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ**  
 в.д. СССР № 894063

Авторы: Сергеев А.С., Харламов П.Р.



1 - ротор, 2 - рычаги, 3 - уплотняющие катки

**Дипломная работа**

Разработка дорожного катка с изменяемой геометрией ведущего вальца

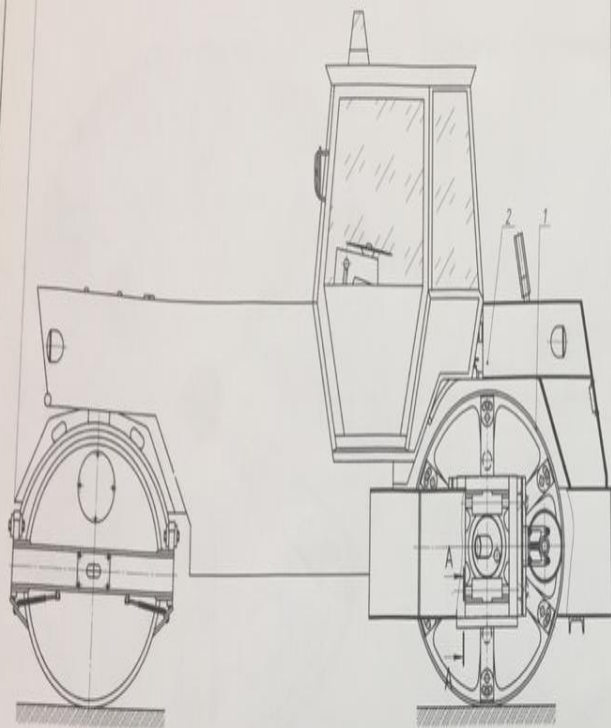
Автор: Балтаев Е.

58071300 ТТ-15-1р

Кафедра Транспортная техника

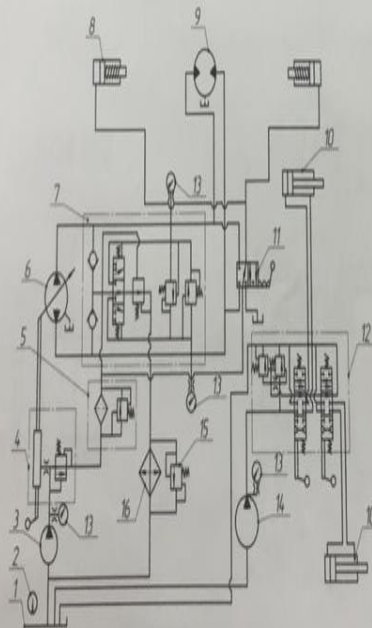
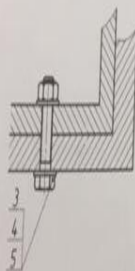
97 00000 199 411160

4790



Гидравлическая схема дорожного катка с измененной геометрией ведущего валика

A-A(12.5)

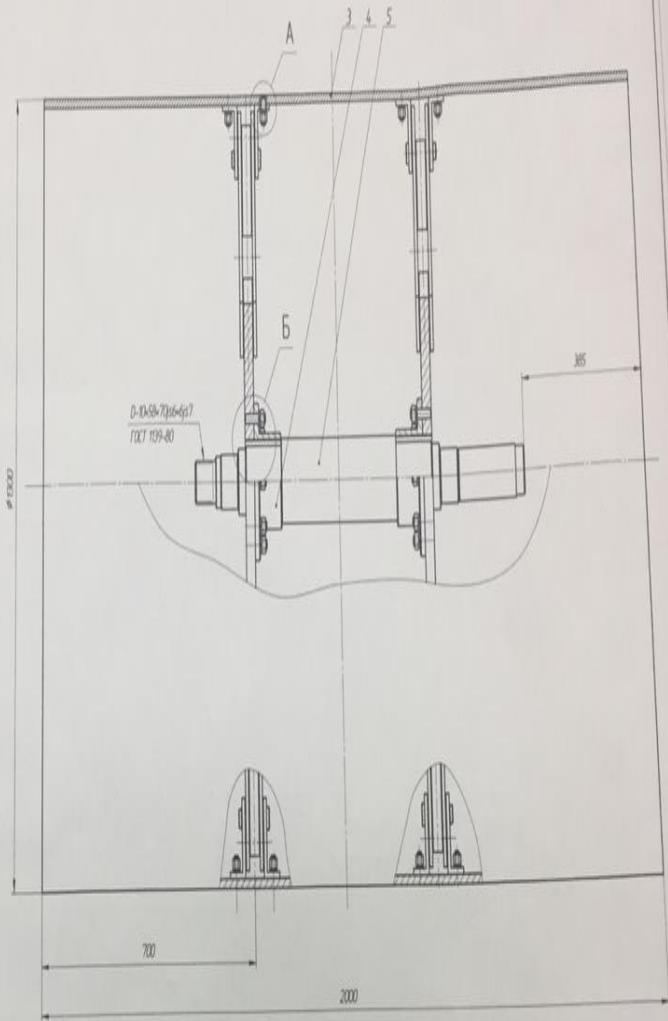
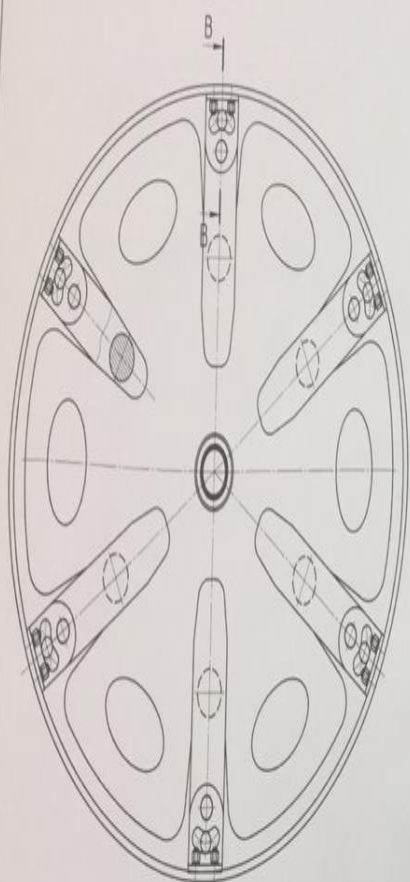


Обозначение	Наименование	кол.	Примечание
1	Гидроцилиндр	1	
2	Передний каток	1	
3	Насос постоянной производительности	1	
4	Гидроцилиндр с поршневым клапаном	1	
5	Фильтр с поршневым клапаном	1	
6	Насос регулируемой производительности	1	
7	Блок клапанов	1	
8	Гидроцилиндр разжимной передачи	2	
9	Гидроцилиндр привода валика	1	
10	Гидроцилиндр разжима валика	10	
11	Двухпозиционный гидрораспределитель	1	
12	Двухпозиционный гидрораспределитель с двумя поршневыми клапанами	1	
13	Манометр	4	
14	Насос постоянной производительности	1	
15	Передний каток	1	
16	Насос регулируемый	1	

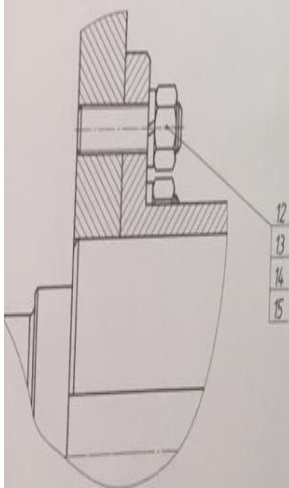
Гидравлическая схема дорожного катка с измененной геометрией ведущего валика

ДРЛТМ 15.64.00.000 СБ			
Исполн.	Провер.	Дата	Лист
Состав.	Состав.	Состав.	Состав.
Дорожный каток			Лист 1 из 1
Стандартный чертеж			851 110
Контурный чертеж			Контурный чертеж
Корректировка			Корректировка

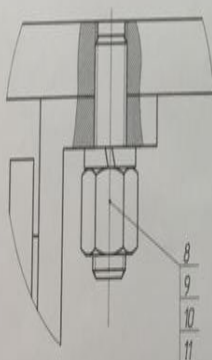
ИП.СА.0010101993.ИИ.08



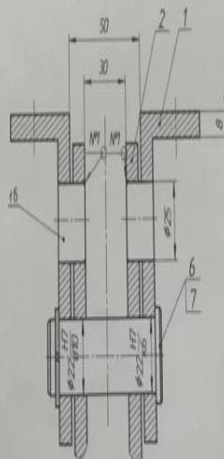
Б (1:1)



А (1:1)



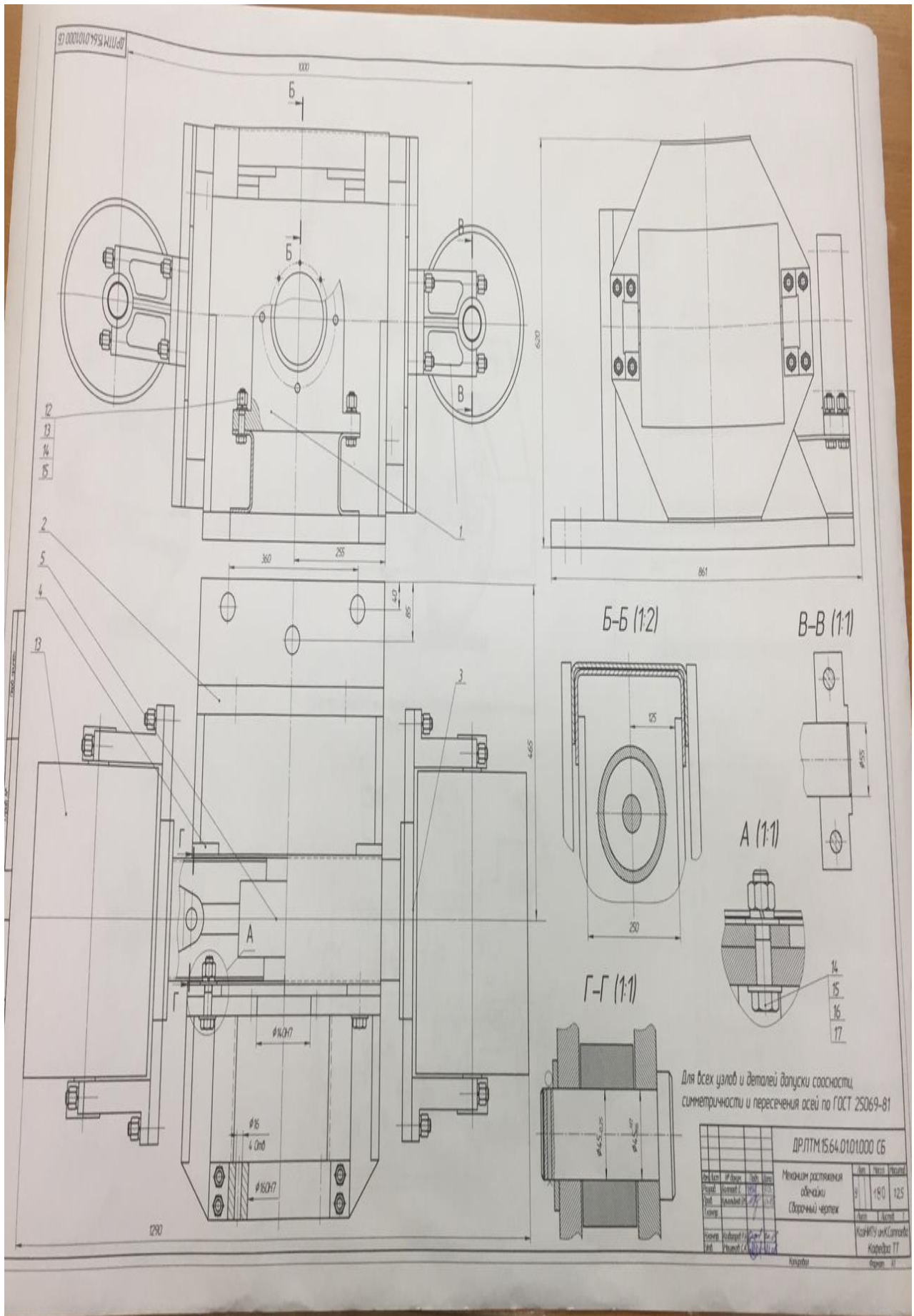
В-В (1:1)



- 1 Для всех узлов и деталей допуски соосности, симметричности и пересечения осей по ГОСТ 25069-81
- 2 Неуказанные предельные отклонения размеров поверхностей валов-  $\pm 1/2$ , остальных  $\pm 1/2$ , поверхностей  $\pm 1/2$  по ГОСТ 25670-83
- 3 Сварка по ГОСТ 5264-84
- 4 Для варки использовать электроды Э42

				ДРЛТМ 15.64.0103.000 СБ	
Исполн.	Провер.	Дата	Лист	Механизм привода	№ 32/0 15
Сварочный чертеж					
Исполн.	Провер.	Дата	Лист	Механизм привода	№ 32/0 15
Сварочный чертеж					



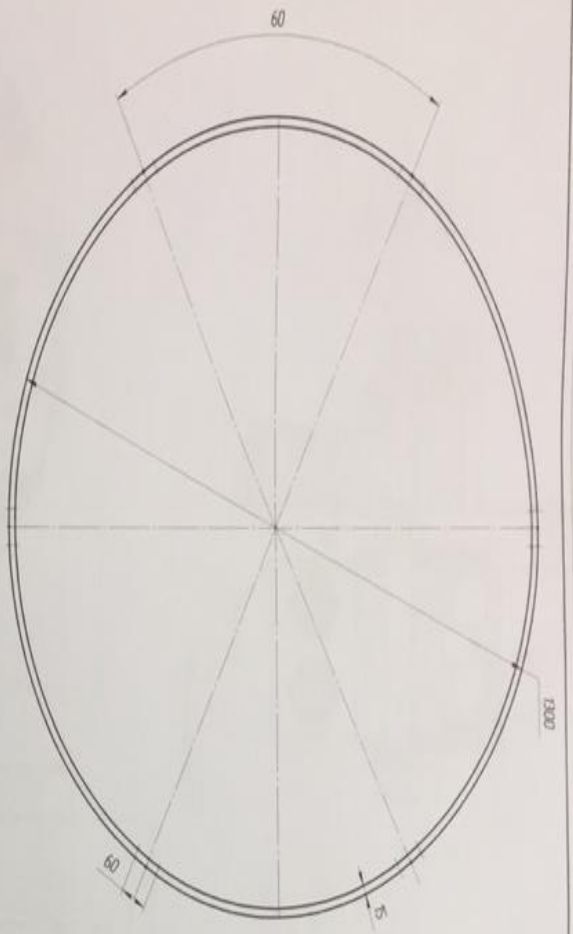
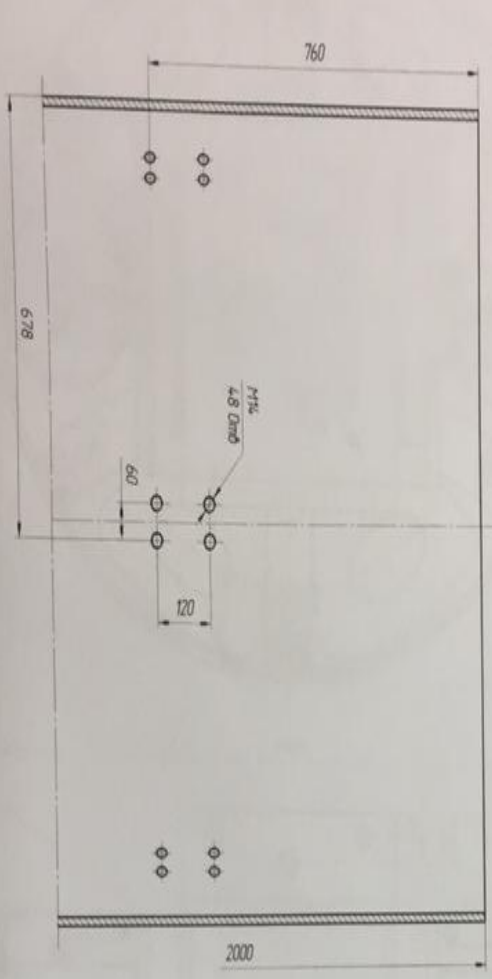


Для всех узлов и деталей допуски совпадения симметричности и пересечения осей по ГОСТ 25069-81

ДРЛТМ.15.64.0101000 СБ				Изм.	Число	Исполн.
Изм.	Исполн.	Дата	Исполн.	1	180	125
Изм.	Исполн.	Дата	Исполн.	Сборочный чертеж		
Изм.	Исполн.	Дата	Исполн.	Коробка ТТ		
Изм.	Исполн.	Дата	Исполн.	Коробка ТТ		

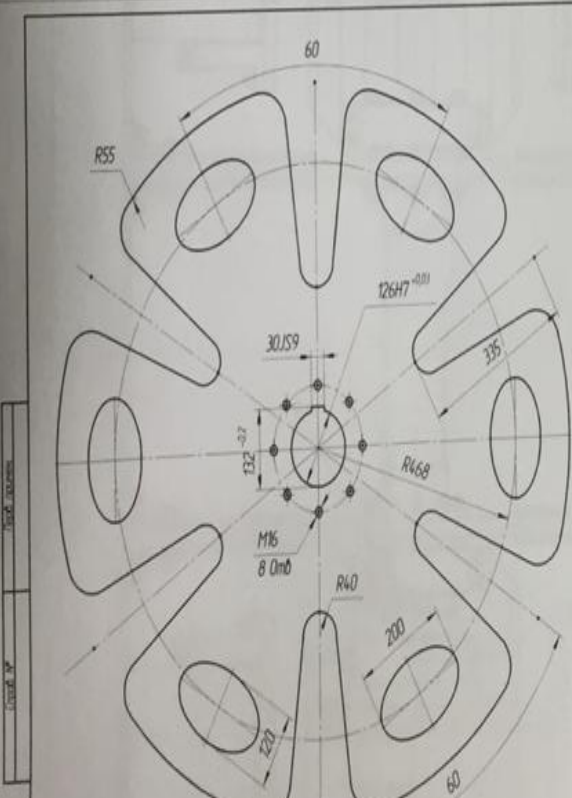


1 Неуказанные предельные отклонения размеров  
 даются -  $t_2$ , остальных  $\pm t_2/2$  по ГОСТ 25670-83

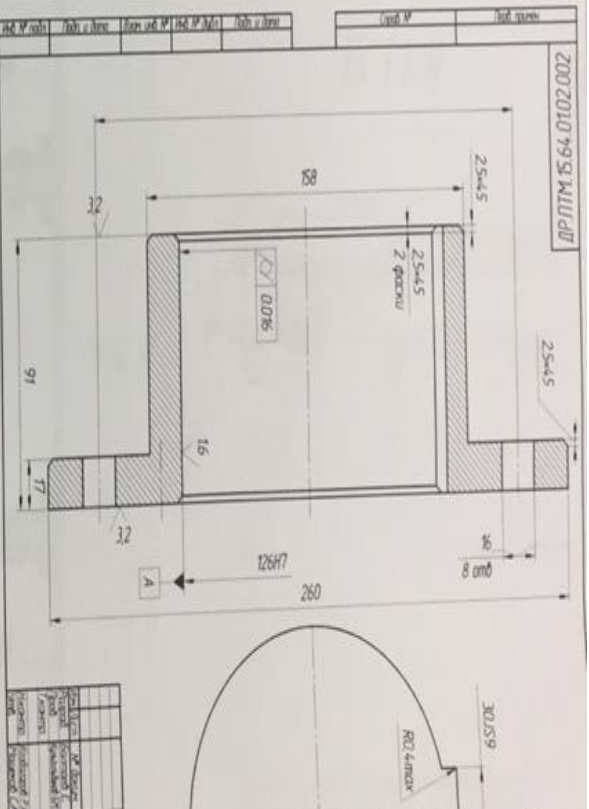


ДРЛПМ 15.64.0102.001		Обечайка	
Исполнитель	М. Бажин	Дата	15.06.2003
Проверенный	С. В. Сидорова	Лист	50
Корректор	С. В. Сидорова	Листов	15
Итого	15	Контрагент	Корпорация "ИТ"
Спец. код	КОД КОД	Спецификация	ГОСТ 1050-88

ДРЛПМ 15.64.0102.001



ДРЛПМ 15.64.0102.003



ДРЛПМ 15.64.0102.002

ДРЛПМ 15.64.0102.002		Обечайка	
Исполнитель	М. Бажин	Дата	15.06.2003
Проверенный	С. В. Сидорова	Лист	50
Корректор	С. В. Сидорова	Листов	15
Итого	15	Контрагент	Корпорация "ИТ"
Спец. код	КОД КОД	Спецификация	ГОСТ 1050-88



Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				Документация		
A1			ДР.ПТМ.15.64.00.00.000.СБ	Сборочный чертеж	1	
				Сборочные единицы		
A1	1		ДП.ПТМ.15.64.01.00.000 СБ	Валец	1	
	2		ДР.ПТМ.15.64.02.00.000 СБ	Базовая машина	1	
				Стандартные изделия		
	2			Болт М20х90,58 ГОСТ 7808-70	6	
	4			Гайка М20,5 ГОСТ 5927-70	6	
	5			Шайба 20.01.05. ГОСТ 22355-77	6	

ДР.ПТМ.15.64.00.00.000

Изм/Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.	Балтаев Е.	<i>[Signature]</i>	17.05
Проб.	Кузьмина БМ	<i>[Signature]</i>	17.05
И.контр.	Казбагаров РА	<i>[Signature]</i>	17.05
Утв.	Машеков СА	<i>[Signature]</i>	17.05

Дорожный каток

Сборочный чертеж

Копировал

Лист	Лист	Листов
		1

КазНИТУ им.К.Сатпаева  
Кафедра ТТ

Формат А4



Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание		
				Документация				
			ДР.ПТМ.15.64.01.00.000 СБ	Сборочный чертеж	1			
				Сборочные единицы				
		1	ДР.ПТМ.15.64.01.01.000 СБ	Механизм привода	1			
		2	ДР.ПТМ.15.64.01.02.000 СБ	Механизм растяжения обечайки	1			
		3	ДР.ПТМ.15.64.01.03.000 СБ	Механизм растяжения обечайки с гидромотором	1			
				Детали				
		4	ДР.ПТМ.15.64.01.01.001	Крышка	2			
		5	ДР.ПТМ.15.64.01.01.002	Крышка	2			
		6	ДР.ПТМ.15.64.01.01.003	Крышка	2			
		7	ДР.ПТМ.15.64.01.01.004	Крышка	2			
				Стандартные изделия				
		8		Болт М10-6gx60.58.016 ГОСТ 7796-70	8			
		9		Болт М16-6gx60.58.016 ГОСТ 7796-70	8			
		10		Гайка М10-6Н.5 ГОСТ 15521 - 70	8			
		11		Гайка М10-6Н.5 ГОСТ 15521 - 70	8			
ДР.ПТМ.15.64.01.00.000								
Изм./Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Валец		Лист	Лист	Листов
Разраб.	Балтаев Е.		19.05			4	1	2
Проб.	Кульзильдинов Б.М.		17.05	Сборочный чертеж		КазНИТУ им.К.Сатпаева Кафедра ТТ		
Исполн.	Козбагаров Р.А.		17.05					
Утв.	Машеков С.А.			Копировал		Формат А4		



## Отчет подобия



Университет:	Satbayev University
Название:	Разработка дорожного катка с изменяемой геометрией ведущего вальца
Автор:	Балтаев Ербол Майрамғалиұлы
Координатор:	Бахтияр Кульгильдинов
Дата отчета:	2019-05-17 07:52:14
Коэффициент подобия № 1: ?	<b>9,9%</b>
Коэффициент подобия № 2: ?	<b>1,9%</b>
Длина фразы для коэффициента подобия № 2: ?	25
Количество слов:	6 365
Число знаков:	48 037
Адреса пропущенные при проверке:	
Количество завершенных проверок: ?	61



К вашему сведению, некоторые слова в этом документе содержат буквы из других алфавитов. Возможно - это попытка скрыть позаимствованный текст. Документ был проверен путем замещения этих букв латинским эквивалентом. Пожалуйста, уделите особое внимание этим частям отчета. Они выделены соответственно.  
Количество выделенных слов 100

- Самые длинные фрагменты, определенные, как подобные
- Документы, содержащие подобные фрагменты: Из домашней базы данных
- Документы, содержащие подобные фрагменты: Из внешних баз данных
- Документы, содержащие подобные фрагменты: Из интернета

## Детали отчета подобия

Фрагменты, найденные в документах базы данных отмечены красным цветом.  
Фрагменты, найденные в интернете отмечены в зеленый .  
Фрагменты, найденные в базе данных Юридических актов отмечены синим фоном .



**Отзыв научного руководителя**

*Дипломная работа*

(вид работы)

*Балтаев Ербол Майрамғалиұлы*

(ф.и.о. студента)

*5B071300- Транспорт, транспортная техника и технологии*

(шифр и наименование специальности)

**Тема:** *Разработка дорожного катка с изменяемой геометрией ведущего вальца*

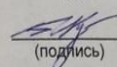
*Балтаев Ербол Майрамғалиұлы, в процессе выполнения дипломной работы в полной мере использовал знания, полученные в университете. Работа выполнена в соответствии с заданием кафедры.*

*В работе необходимые расчеты были выполнены в полном объеме, все чертежи выполнены в соответствии с требованиями ГОСТа. Были проведены и обследованы патентные поиски дорожного катка с изменяемой геометрией ведущего вальца. Предлагаемая конструкция повысит эффективность работы. Были сделаны все необходимые расчеты.*

*Представленная на защиту дипломная работа показывает уровень подготовки автора Балтаева Е.М. В связи с этим Балтаева Е.М. заслуживает присвоение академической степени «бакалавр» по специальности 5B071300- «Транспорт, транспортная техника и технологии» и его работу можно рекомендовать к публичной защите.*

**Научный руководитель**

Кандидат технических наук, сениор-лектор  
(должность, научная степень)

  
(подпись)

**Б.М. Кульгильдинов**  
Ф. И.О.

«17» мая 2019г.

### РЕЦЕНЗИЯ

на дипломную работу  
(наименование вида работы)

Балтаев Ербол Майрамгалиулы  
(Ф.И.О. обучающегося)

5B071300- Транспорт, транспортная техника и технологии  
(шифр и наименование специальности)

На тему: Разработка дорожного катка с изменяемой геометрией  
ведущего вальца

Выполнено:

- а) графическая часть на 6 листах  
б) пояснительная записка на 52 страницах

### ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

По рецензируемой работе имеются следующие замечания:

1. В пояснительной записке отсутствует ряд ссылок на таблицы и рисунки.
2. Рисунки и таблицы должны быть оформлены по ГОСТу.

### Оценка работы

Несмотря на указанные замечания, дипломная работа заслуживает хорошей оценки, а исполнитель, Балтаев Ербол Майрамгалиулы присвоения  
Квалификации бакалавра по специальности 5B071300– «Транспорт,  
Транспортная техника и технологии», а работа оценивается на 80 баллов.

### Рецензент

К.т.н., доцент  
(должность, уч. степень, звание)

А.М. Кекильбаев  
(подпись) ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ  
Начальник ОУП

«17» мая 2019г.

