

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования

«Южно-Уральский государственный университет»  
(национальный исследовательский университет)

Факультет «Автотранспортный»

Кафедра «Колесных и гусеничных машин»

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой

к.т.н., профессор

\_\_\_\_\_/В. Н. Бондарь/

«\_\_»\_\_\_\_\_2020 г.

Модернизация усилителя рулевого управления УАЗ-3163

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА  
К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ ЮУрГУ–  
23.03.02.2020.026.00 ПЗ ВКР

Руководитель работы:

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_/А.В. Разношинская

«\_\_»\_\_\_\_\_2020 г.

Автор работы

студент группы П-405

\_\_\_\_\_/Р.Т. Агзямов

«\_\_»\_\_\_\_\_2020 г.

Нормоконтролер

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_/В. И. Дуюн

«\_\_»\_\_\_\_\_2020 г.

Челябинск 2020

## АННОТАЦИЯ

Агзямов Р.Т. Модернизация усилителя рулевого управления УАЗ-3163. Челябинск: ЮУрГУ, П-405, 71 с., 8 табл., 19 ил., библиогр. список – 23 наим., 1 прил., 6 л. чертежей ф. А1.

В выпускной квалификационной работе модернизирован усилитель рулевого управления УАЗ-3163.

Произведен анализ рулевых усилителей и разработана компоновка автомобиля с электрогидравлическим усилителем рулевого управления.

Определено, что в результате воздействия на водителя возникает его утомляемость и впоследствии усталость, которая может привести к профессиональным заболеваниям. Для того, чтобы это не произошло, рулевые усилители делают удобными и комфортными для водителя.

Решены организационно-экономические вопросы. Произведена оценка технического уровня и качества нового гидроусилителя. Рассчитан годовой экономический эффект (1296,6 руб.) и срок окупаемости (2,1 г).

Представлен проект инструкции по охране труда.

					<i>23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ</i>			
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>				
<i>Разраб.</i>		<i>Агзямов Р.Т.</i>			<i>Модернизация усилителя рулевого управления УАЗ-3163</i>	<i>Лит.</i>	<i>Лист</i>	<i>Листов</i>
<i>Провер.</i>		<i>Разношинская А.В.</i>					5	71
<i>Реценз.</i>						<i>ЮУрГУ Кафедра «КГМ»</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Дююн В.И.</i>						
<i>Утверд.</i>		<i>Бондарь В.Н.</i>						

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	7
1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	8
1.1 Анализ конструкций рулевого управления.....	8
1.2 Требования, предъявляемые к рулевому управлению.....	13
1.3 Выбор конструкции рулевого управления.....	15
1.4 Описание конструкции и принцип действия рулевого механизма с усилителем.....	16
2 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ.....	23
2.1 Выбор рулевого управления.....	23
2.2 Расчет рулевого механизма.....	27
2.3 Расчёт деталей рулевого управления.....	30
3 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ КАРТА УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОГИДРОВЛИЧЕСКОГО УСИЛИТЕЛЯ.....	46
4 ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	49
4.1 Оценка уровня качества проектируемого рулевого управления.....	49
4.2 Расчет годового экономического эффекта.....	52
4.3 Расчет себестоимости.....	56
4.4 Расчет эксплуатационных расходов.....	62
5 БЕЗОПАСНОСТЬ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	65
5.1 Требования безопасности, предъявляемые к конструкции рулевого управления.....	65
5.2 Требования безопасности при ремонте и обслуживании рулевого управления.....	65
5.3 Мероприятия по созданию безопасных условий эксплуатации и ремонта.....	67
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	69
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	70
ПРИЛОЖЕНИЯ	
ПРИЛОЖЕНИЕ А	

					<i>23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		6

## ВВЕДЕНИЕ

Безопасность рулевого управления одно из главных условий эксплуатации автомобиля. Если оно оказывается невыполненным, то эксплуатацию запрещают.

Важным фактором является использования комфортного рулевого управления для водителя, когда в процессе эксплуатации он не устает из-за повышенных нагрузок из-за чрезмерного усилия, оказываемого на рулевое управление. Правильно подобранное рулевое управления позволяет экономить топливо, предотвращать чрезмерный износ шин и т. д.

Необходимо не только обеспечивать техническое обслуживание рулевого управления, но и правильно производить его ремонт с целью уменьшения возможности появления преждевременного износа или отказа из-за отсутствия вовремя проведенного диагностирования.

Как мы видим, рулевое управление так же отвечает необходимым условиям безопасности, которые регламентируются как ГОСТ, так и правилами технического обслуживания автомобиля.

В данной работе была рассмотрена модернизация рулевого управления с целью повышения ее эффективности, снижения себестоимости производства ее механизмов. Меньший расход топлива благоприятно скажется на «привлекательности» автомобиля с точки зрения потребителя, так как в итоге он (потребитель) получит более надежный и экономичный автомобиль за меньшие деньги. Этим и обусловлена актуальность данной выпускной квалификационной работы.

Цель данной работы – модернизация усилителя рулевого управления автомобиля УАЗ-3163, путем замены его на электрогидроусилитель.

					<i>23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		7

# 1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

## 1.1 Анализ конструкций рулевого управления

В настоящее время в основном применяются гидроусилители с золотниковыми распределителями, а также электроусилители и рулевое управление с электрическим приводом, и сенсорные на прототипах.

Рассмотрим требования, предъявляемые к усилителям:

- возможность кинематического поворота с помощью воздействия на рулевое управление;
- возможность управления автомобилем в результате неисправности усилителя рулевого управления;
- время срабатывания должно быть минимизировано, таким образом, чтобы обеспечивать безопасность при его использовании;
- плавность хода при воздействии на усилитель;
- включение его работы без ударной нагрузки и шума.

Проведем классификацию РУ, схема показана на рисунке 1.

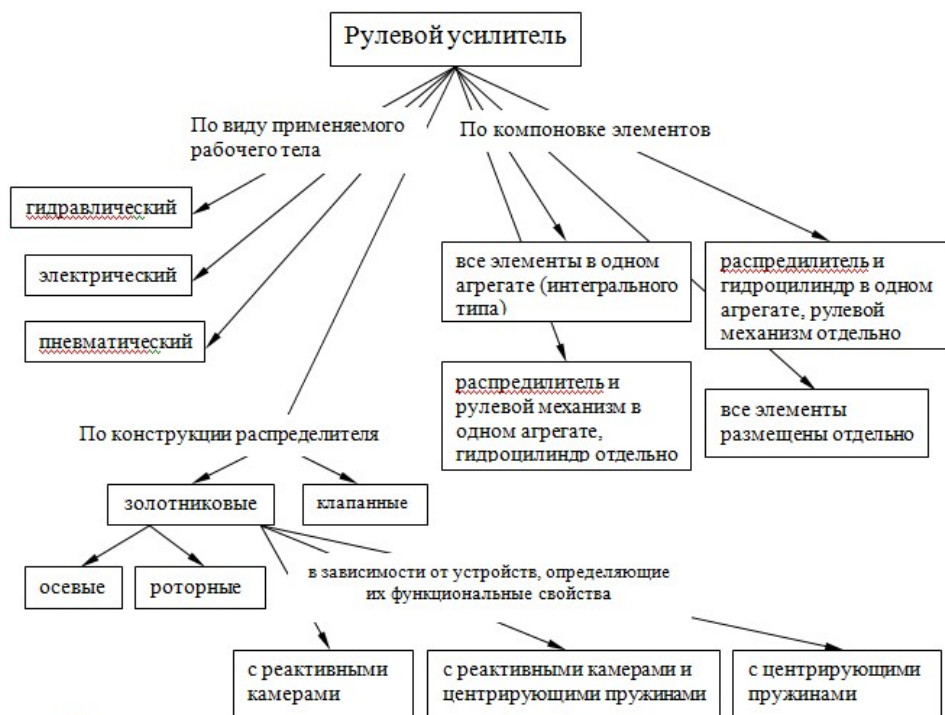


Рисунок 1 – Классификация рулевых усилителей

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ

Лист

8

Гидроусилители чаще всех остальных усилителей используют в рулевом управлении, к их достоинствам следует отнести:

- небольшие размеры благодаря высокому рабочему давлению (6...10 МПа);
- время на передачу усилия не более 2 с;
- нагрузки от рулевого управления должны компенсироваться так, чтобы

Во время эксплуатации должны обеспечиваться надежные условия, такие как отсутствие течи и прочих неисправностей, вызванных работой усилителя в процессе эксплуатации

Рассмотрим несколько схем усилителей.

Рассмотрим гидроусилитель, изображенный на рисунке 2. Данный усилитель находится в одном блоке с гидроцилиндром. Этот блок расположен отдельно от рулевого механизма

Достоинства данной схемы следующие:

- можно применять любой РМ (рулевой механизм);
- удобство обслуживания;
- небольшое количество нагруженных в рулевом усилителе элементов.

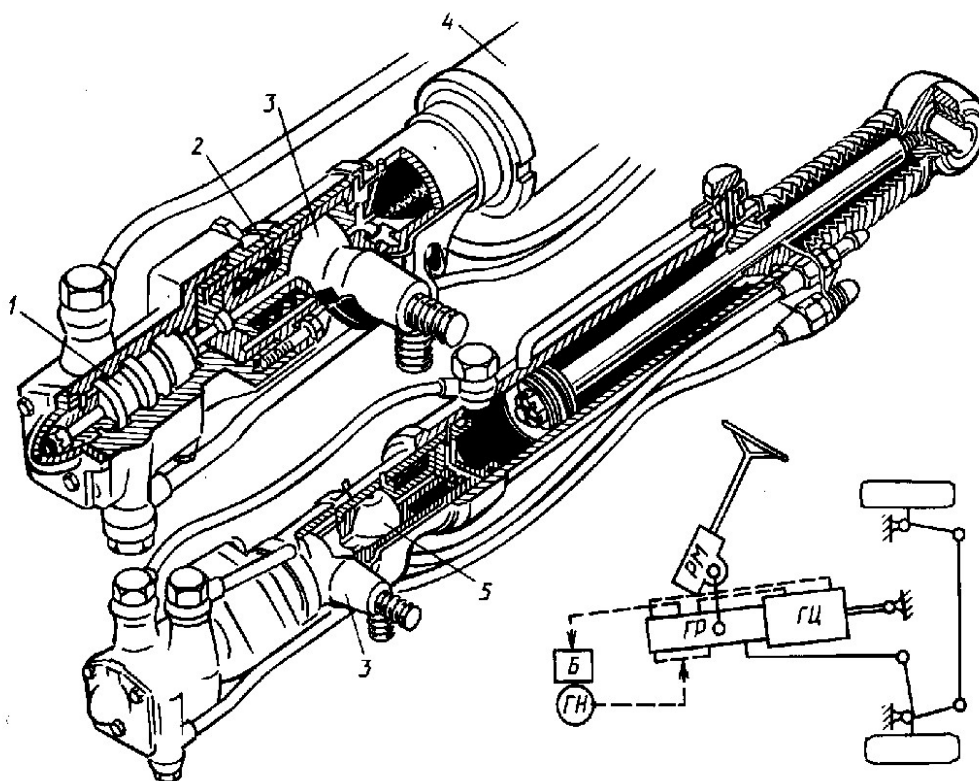


Рисунок 2 – Гидроусилитель рулевого управления МАЗ-5335

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ

Лист

9

Рассмотрим устройство данного усилителя. Золотниковой гидрораспределитель 1 соединен с корпусу 2. Корпус 2 связан с гидроцилиндром 4. При этом шаровый палец 3 может перемещаться в осевом направлении не более 4 мм. Шаровый палец 5 крепится к рулевой тяге. Указанный гидроусилитель включается при перемещении золотника на 0,4...0,6 мм, что указывает на то, что усилитель достаточно чувствителен и реагирует при малых перемещениях золотника.

На рисунке 3 показана другая схема характерная для грузового автомобиля Урал-4320. В этой схеме разделен гидрораспределитель с гидроцилиндром. Так же достоинством является достаточная чувствительность рулевого механизма. Недостатком, что разделение гидрораспределителя и гидроцилиндра приводит к необходимости установки дополнительных трубопроводов.

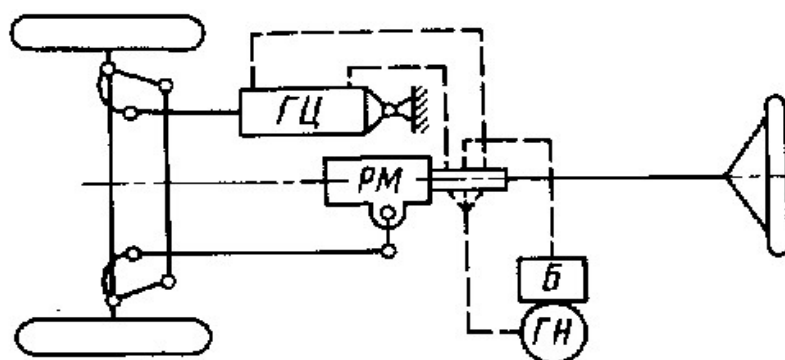


Рисунок 3 – Гидроусилитель рулевого управления Урал-4320

Рассмотрим схему с радиальным размещением гидроусилителя, изображенную на рисунке 4. В данной схеме все детали усилителя размещены отдельно.

Достоинства данной схемы следующие:

- можно применять любой РМ (рулевой механизм);
- удобство обслуживания;

Недостаток, что разделение деталей отдельно приводит к необходимости установки дополнительных трубопроводов. Так же возможно передача колебаний на управляемые колеса.

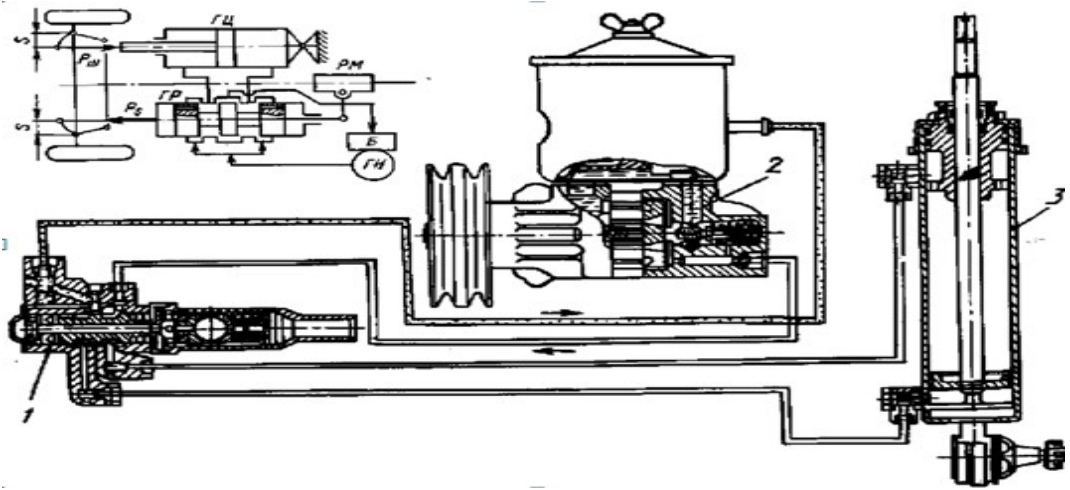


Рисунок 4 – Схема с радиальным размещением гидроусилителя

1 – гидрораспределитель с реактивными камерами, расположенный в наконечнике продольной рулевой тяги; 2 – гидронасос; 3 – силовой гидроцилиндр.

Усилитель рулевого механизма легкового автомобиля обычно идет в сборе с РУ, механизм гидроусилителя легкового автомобиля показан на рисунке 5.

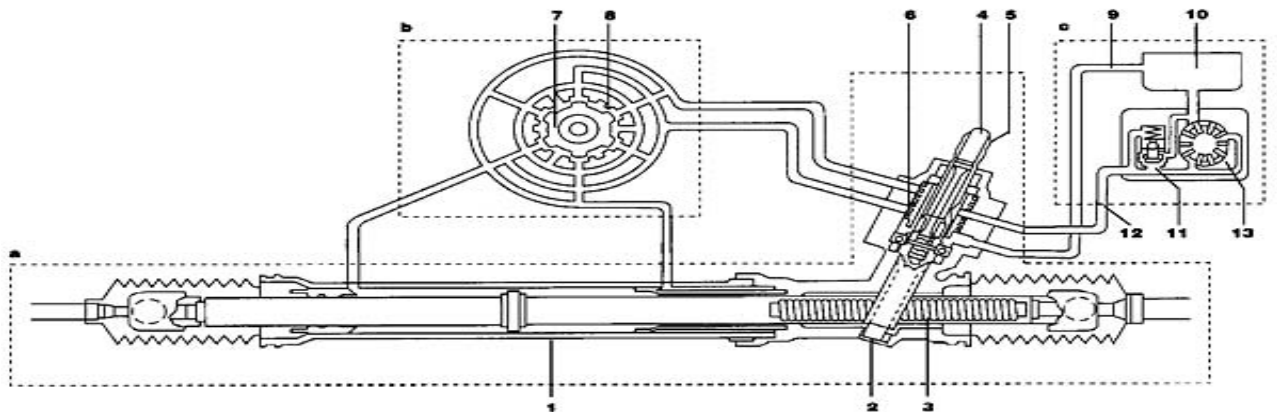


Рисунок 5 – Механизм гидроусилителя легкового автомобиля

а – рулевое управление в сборе; б – поперечное сечение вращающегося распределителя (увеличено); с – источник энергии; 1 – силовой цилиндр гидроусилителя; 2 – шестерня РМ; 3 – зубчатая рейка; 4 – стержень; 5 – рулевой вал; 6 – контрольное окно; 7 – вращающийся золотник; 8 – втулка золотника; 9 – возвратная магистраль; 10 – масляный резервуар; 11 – нагнетательный и перепускной клапан; 12 – нагнетательная магистраль; 13 – масляный насос.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ

Лист

11



В данной конструкции поршень размещается посередине, рулевые тяги сбоку рейки. Насос качает масло в распределителе под давлением, и отслеживает усилие, которое поворачивает колеса, для этого используется следящее устройство. Когда поворот рулевого колеса не происходит масло сливается обратно в бачок.

Чем сильнее водитель поворачивает руль, тем сильнее скручивается торсион и увеличивается усилие на руле. При этом золотник открывает каналы, и масло поступает в исполнительное устройство. В рулевом механизме данного типа давление подается на поршень и помогает перемещаться ему вдоль вала РМ.

А в реечном механизме масло подается в корпус рейки — в ту или иную сторону от поршня, связанного с рейкой, и подталкивает ее вправо или влево. Когда баранка уже повернута до упора, срабатывают предохранительные клапаны, сбрасывая давление масла и сохраняя детали механизма от повреждения.

Встречается, хотя и редко, еще один вид гидроусилителей, эффективность которых изменяется в зависимости от сцепления шин с дорогой.

Главный недостаток всех традиционных ГУР – они отбирают часть мощности у двигателя. Потребляемая ГУРом мощность может достигать 5–7 л.с., а это весьма существенная потеря, к примеру, для городских малолитражек. Поэтому для снижения энергопотребления в конце 90-х стали применять электрогидроусилители: в них гидронасос приводится в действие собственным электромотором, который связан с блоком управления двигателем и работает в соответствии с заложенной в него программой.

Принцип действия электрогидравлического усилителя аналогичен работе гидравлического усилителя руля. Главное отличие в том, что здесь насос гидроусилителя приводится в движение электродвигателем, а не ДВС. Рулевое управление с электрогидравлическим усилителем руля компании TRW Если автомобиль движется прямо, то жидкость в системе просто циркулирует по направлению от насоса гидроусилителя в бачок и обратно.

										Лист
										12
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ					

Когда водитель поворачивает руль, циркуляция рабочей жидкости прекращается. В зависимости от направления вращения руля она заполняет определенную полость силового цилиндра. Жидкость из противоположной полости попадает в бачок. После этого рабочая жидкость начинает давить на рейку рулевого механизма с помощью поршня, далее усилие переходит на рулевые тяги, и происходит поворот колес. Гидравлический усилитель руля функционирует с наибольшей производительностью на малой скорости (повороты в ограниченном пространстве, парковка). В этот момент электромотор вращается быстрее, а насос гидроусилителя работает производительнее. При этом водителю не надо прикладывать особого усилия при повороте рулевого колеса. Чем выше скорость машины, тем медленнее работает электродвигатель.

## 1.2 Требования, предъявляемые к рулевому управлению

Рассмотрим условия, которые предъявляются к РМ:

- необходимость обеспечения высокого коэффициента полезного действия;
- возврат руля в исходное положение без рывков;
- возможность прямолинейного движения без манипуляций;
- зазор вала сошки не должен превышать определенного значения;
- неизменное передаточное число рулевого механизма;
- отсутствие дополнительных регулировок для движения.

От усилителя рулевого механизма зависит как будет легко крутиться руль. Коэффициент полезного действия РМ может быть как прямым, так и обратным. В первом случае усилие передается от рулевого колеса к сошке, во втором, уже наоборот. Чем больше КПД прямой зависимости, тем легче управление автомобилем. При обратной зависимости КПД, руль становится легче при воздействии сил, воздействующих на передние колеса (управляемые). Прямая и обратная зависимость КПД определяется конструкцией РМ. Прямой КПД обычно составляет значения до 0,9, при этом обратный расположен в диапазоне 0,6-0,8.

										Лист
										13
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ					

То, как долго проработает рулевой механизм, напрямую зависит от его конструкции, а именно зазоров в нем и их изменение при повороте руля. При прямом движении автомобиля в рулевом механизме должно быть обеспечено беззачерное зацепление при минимальном воздействии на механизм. В зацеплении рулевой пары рекомендуемым зазором остается диаметр в 5 мм.

Необходимо обеспечивать надежное закрепление рулевого механизма без постоянной регулировки его положения.

Зазор в наконечниках рулевых тяг не должен превышать допустимых значений, установленным предприятием-изготовителем в руководстве по эксплуатации (конструкторской документации) для конкретной марки (модели) автотранспортного средства.

РУ должно обеспечивать заданную траекторию движения КМ с необходимыми параметрами поворотливости, поворачиваемости и устойчивости криволинейного и прямолинейного движения. При этом КМ должна поворачиваться с заданным минимальным радиусом.

При проектировании рулевого управления опираются на ОСТ 37.001.471 – 88 и РД 37.001.005 – 86. Заданные максимальные углы поворота передних управляемых колес современных КМ находятся в пределах 35...45 градусов.

Усилия, которые прикладываются к рулевому колесу, должны соответствовать требованиям ГОСТ 21398-89, в котором указано, что при наличии рулевого усилителя это значение не должно превышать 120Н. В случае отказа рулевого усилителя не более 500 Н, если же рулевой усилитель отсутствует, то показатель не более 250 Н.

Рассматриваемый автомобиль относится к легковым транспортным средствам, поэтому суммарное число оборотов руля для него не должно превышать 1,8 оборота. При этом регламентом установлено, что угол без схватывания не должен превышать 30 градусов.

					<i>23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		14

При выходе из строя рулевого усилителя должна сохраняться возможность управления КМ. Конструкция РУ должна быть проста, иметь малые размеры и массу, позволять проводить техническое обслуживание и быть надежной в работе.

Суммарный люфт в рулевом управлении не должен превышать допустимых значений, установленных в ГОСТах.

На автотранспортном средстве, оборудованном усилителем рулевого управления не допускается самопроизвольное вращение рулевого колеса в неподвижном состоянии и работающем двигателе.

Вращение рулевого колеса должно происходить без рывков и заеданий во всем диапазоне угла его поворота.

Резьбовые соединения рулевых тяг должны быть затянуты и зафиксированы. При вращении рулевого колеса не должно быть постороннего шума (хруст, щелчки).

Уровень рабочей жидкости в резервуаре усилителя рулевого управления должен соответствовать требованиям, установленным предприятием-изготовителем в руководстве по эксплуатации (конструкторской документации) для конкретной марки (модели) автотранспортного средства. Не допускается наличие подтеканий рабочей жидкости в гидравлической системе усилителя рулевого управления.

### 1.3 Выбор конструкции рулевого управления

УАЗ-3163 – внедорожник класса M1G является автомобилем высокой проходимости. Кроме того, он обладает большей грузоподъемностью по сравнению с легковыми автомобилями, что при его управлении требует дополнительных усилий, и он не может обходиться без рулевого усилителя.

Данная категория автомобилей позволяют передвигаться практически по любым дорогам, более экономична по сравнению с внедорожниками на жестких мостах, лучшая управляемость на дороге при высоких скоростях. Исходя из этих соображений и произведя анализ конструкций рулевых управлений, т.е. их

					<i>23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		15



цепи снимаются с рециркуляционной трубы и на другом конце возвращаются, вследствие чего образуется бесконечная шариковая цепь.

Воздействие в результате зацепления поршня обозначенного как (B) с секторным валом (F) приводит к сдвиганию поршня и выполнению вращательных движений.

Клапан РУ представлен в виде золотника в игольчатом подшипнике в вале рулевого управления (C) с соответственно шестью управляющими канавками по окружности и втулки управления (D) на червяке.

Работающий на кручение стержень (E), который соединен штифтом с золотником (C) и червяком (D), удерживает клапан рулевого управления в среднем положении, до тех пор, пока не будет приложено усилие к рулевому управлению автомобиля.

					<i>23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		17

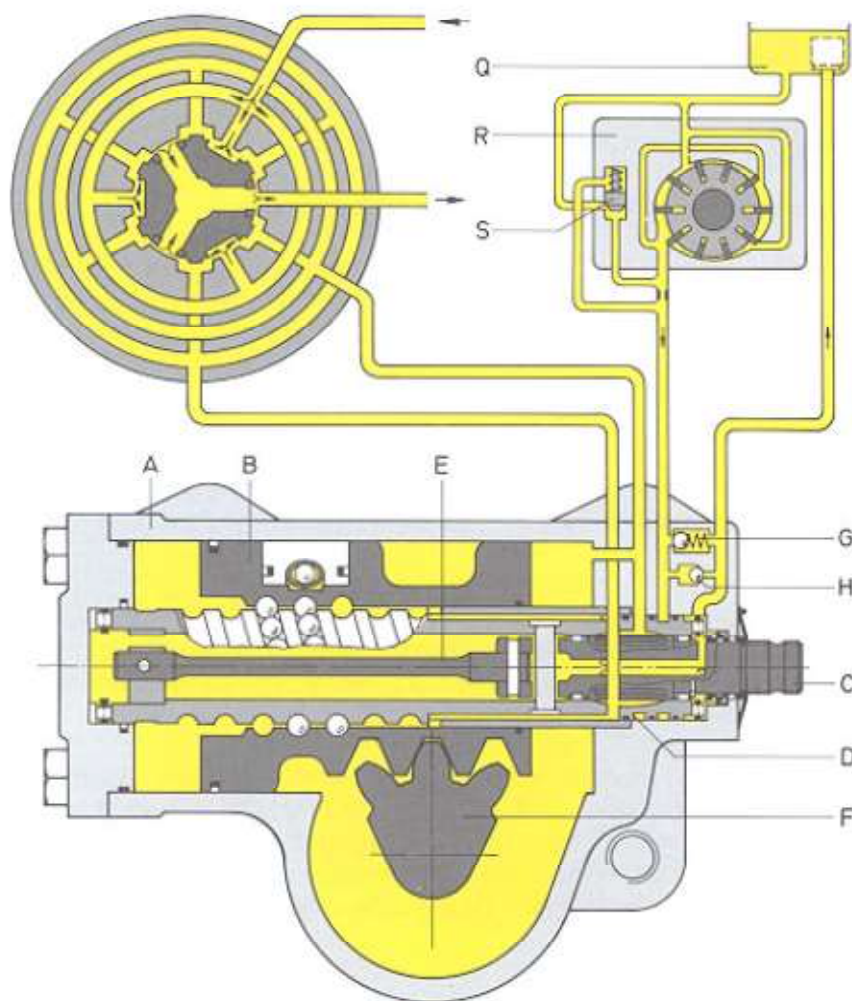


Рисунок 6 – Золотник в среднем положении

А – картер; В – поршень; С – золотник/вал рулевого управления; D - втулка управления/червяк; E – работающий на кручение стержень; F – секторный вал; G – клапан ограничения давления; H – клапан подсоса; Q – масляный бачок; R – крыльчатый насос; S – регулятор потока;  – давление обратного хода.

В картере рулевого механизма может быть установлен клапан ограничения давления (G), который не позволяет давлению достичь максимально уровня в системе.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ

Лист

18





управления сквозь впускные щели (J и K) попадает в также дугообразные осевые канавки (N и O) втулки управления.

Оттуда маслу через радиальные отверстия открыт путь к каждой стороне рабочего цилиндра.

До тех пор, пока клапан рулевого управления находится в среднем положении, масло может течь к обеим полостям цилиндра, и через три канавки обратного хода (P) стекать в золотник, откуда оно течет обратно в масляный бачок.

При повороте рулевого колеса вправо, поршень сдвигается вправо. В зависимости от требуемого усилия управления, повышается давление в левой полости цилиндра.

Для этого управляющие канавки золотника сдвигаются по часовой стрелке, и впускные щели (K) для притока масла открываются больше. Однако впускные щели (J) при этом соответственно закрываются, и блокируют приток масла к осевым канавкам (O) втулки управления.

Теперь масло течет сквозь впускные щели (K) в осевые канавки (N) втулки управления, и оттуда попадает по резьбе движения шариков в левую полость цилиндра. Закрытые впускные щели (J) предотвращают, что масло может стекать в масляный бачок, и обеспечивают повышение давления.

Масло из правой полости цилиндра вытесняется. Оно течет сквозь открытые выпускные щели (M) к канавкам обратного хода (P) золотника. Отсюда обеспечивается постоянный обратный слив сквозь расположенное по центру смазочное отверстие в масляный бачок.

					<i>23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ</i>	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Подпись</i>	<i>Дата</i>		20

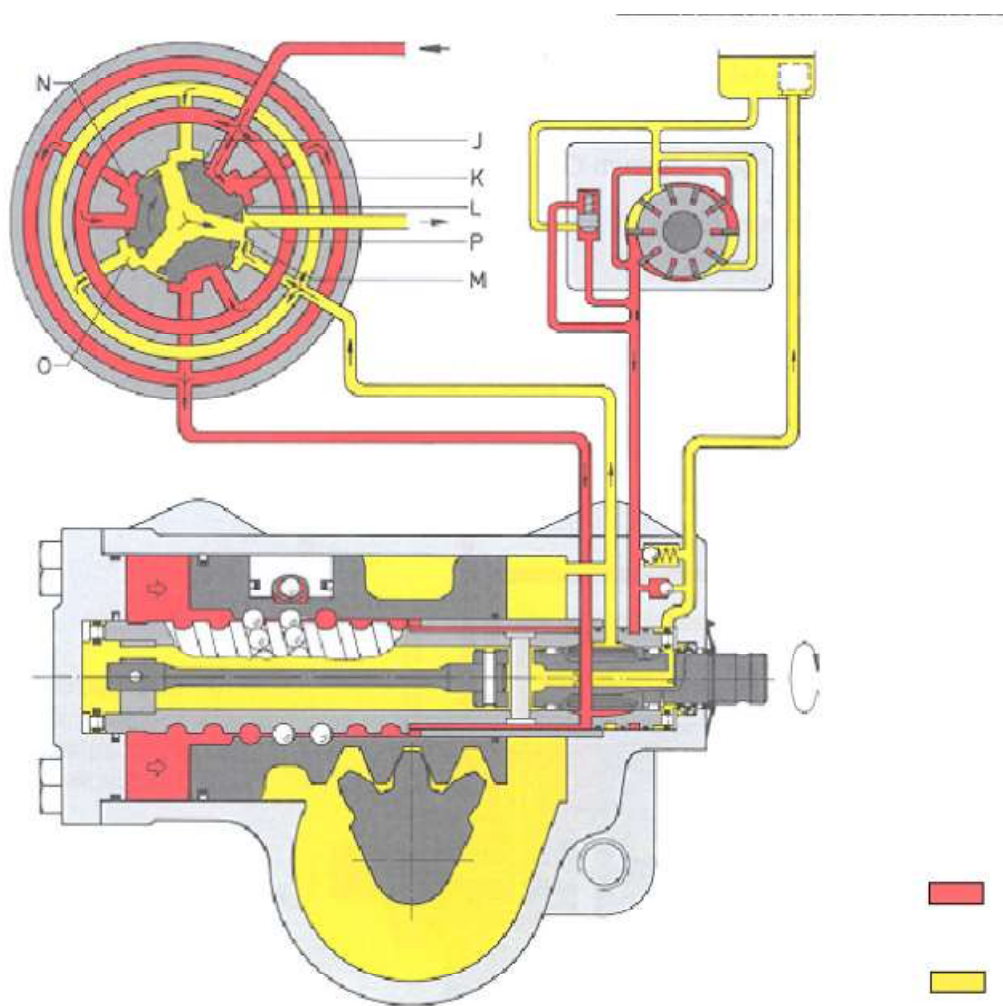


Рисунок 7 – Золотник в рабочем положении. Поворот рулевого колеса по часовой стрелке

J – впускная щель; K – впускная щель; L – выпускная щель; M – выпускная щель; N – осевая канавка; O – осевая канавка; P – канавка обратного хода;  – давление обратного хода;  – рабочее давление.

При повороте рулевого колеса влево, поршень сдвигается влево, что можно увидеть на рисунке 7. Поэтому повышение давления теперь происходит в правой полости цилиндра. За счет повышения давления происходит поворот управляемых колес.

Золотник в рабочем положении изображен на рисунке 8.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ

Лист

21

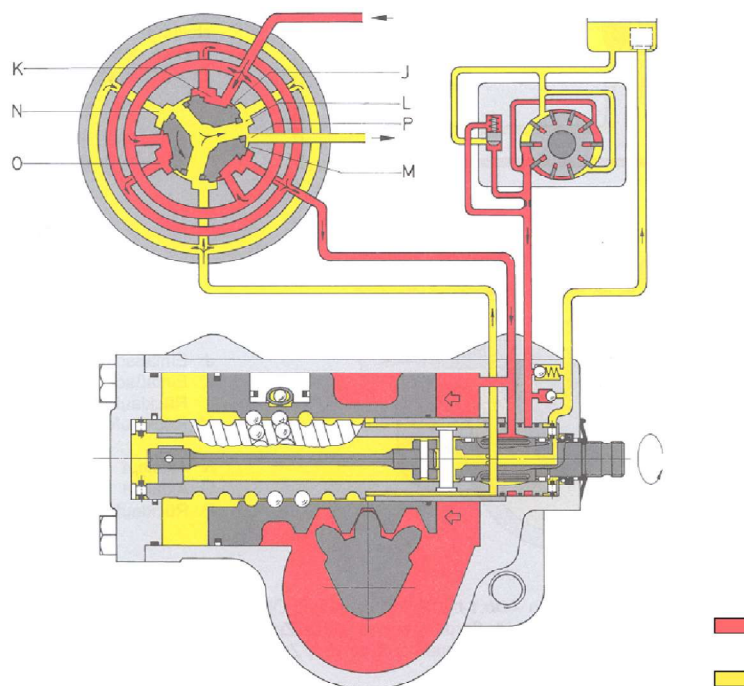


Рисунок 8 – Золотник в рабочем положении

J – впускная щель; K – впускная щель; L – выпускная щель; M – выпускная щель; N – осевая канавка; O – осевая канавка; P – канавка обратного хода;  – давление обратного хода;  – рабочее давление.

Выводы по разделу один:

Предлагаю модернизировать усилитель рулевого управления УАЗ-3163 путем замены его на электрогидроусилитель.

Рассматриваемый электрогидроусилитель руля позволит облегчить вращения руля, что обеспечит более высокую информативность и увеличит ресурс за счет плавности включения, при этом обеспечит достаточную устойчивость и ослабит передачу на руль ударов от неровностей дороги, что повысит активную безопасность автомобиля, а так же снизит расход топлива.

Для этого необходимо произвести расчет проектируемой конструкции, которая должна обладать достаточными показателями по исполнению своих функций, а так же необходимыми показателями по безопасности при вождении данного автомобиля, что мы рассмотрим в следующей главе.

## 2 КОНСТРУКТОРСКИЙ РАЗДЕЛ

### 2.1 Выбор рулевого управления

Данная модель УАЗ оснащена усилителем рулевого управления, нам важно при изменении конструкции оснастить ее более совершенным усилителем и это не должно отразиться на безопасности управления транспортным средством.

Расчетный момент из уравнений движения по криволинейной траектории:

$$T_{c\Sigma} = T_f + T_\varphi + T_h, \quad (1)$$

где  $T_f$  – момент сопротивления качению колес;

$T_\varphi$  – момент сопротивления скольжению;

$T_h$  – момент сопротивления.

Момент сопротивления качению колес:

$$T_f = z * G_k * f_c * a_k \quad (2)$$

$$T_f = 2 * 7137 * 0,015 * 0,1 = 21,41 \text{ Н*м},$$

где  $z$  – число управляемых колес,  $z = 2$ ;

$G_k$  – вес автомобиля, приходящийся на колесо,  $G_k = 7137 \text{ Н}$  (при полной массе автомобиля 2800 кг);

$a_k$  – плечо обкатки колеса,  $a_k = 100 \text{ мм}$ ;

$f_c$  – коэффициент качения колеса, на асфальто-бетонном покрытии  $f_c = 0,015$ .

										Лист
										23
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ					

Момент сопротивления скольжению:

$$T_{\varphi} = z * G_k * \varphi * a_{\varphi} \quad (3)$$

$$T_{\varphi} = 2 * 7137 * 0,7 * 0,057 = 569,53 \text{ Н,}$$

где  $\varphi$  – коэффициент сцепления колеса с опорной поверхностью,  $\varphi = 0,7$ ;

$a_{\varphi}$  – плечо момента трения скольжения,  $a_{\varphi} = 0,14 * r_c = 0,14 * 0,4064 = 0,057 \text{ м.}$

При повороте управляемых колес, из-за наклона оси их поворота в поперечной и продольной плоскости автомобиля (соответственно на углы  $\delta_0$  и  $\gamma_0$ ) происходит подъем автомобиля, необходимый для стабилизации управляемых колес. Момент сопротивления этому подъему определяют по формуле:

$$T_h = m * G_k * a_k [ \delta_0 ( \sin \alpha_B + \sin \alpha_H ) + \gamma_0 ( \cos \alpha_B + \cos \alpha_H ) ] \quad (4)$$

$$T_h = 1 * 4730 * 0,1 [ 0,1396(\sin 13,5^\circ + \sin 9,25^\circ) + 0,5236(\cos 13,5^\circ + \cos 9,25^\circ) ] = 722,06 \text{ Н,}$$

где  $m$  – число осей (мостов) с управляемыми колесами,  $m = 1$ ;

$$\delta_0 = 8^\circ, \gamma_0 = 30^\circ;$$

$\alpha_B$  и  $\alpha_H$  – средние углы поворота внутренних и наружных колес автомобиля (можно принять равными 0,5 от  $\alpha_{\text{вmax}}$  и  $\alpha_{\text{нmax}}$ ),

$$\alpha_B = 0,5 * \alpha_{\text{вmax}}, \quad (5)$$

$$\alpha_B = 0,5 * 27^\circ = 13,5^\circ,$$

$\alpha_H$  находим из выражения:

					<i>23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		24

$$L' = (r_T - b) * \sin \alpha_{\text{нmax}}, \quad (6)$$

где  $r_T$  – радиус поворота автомобиля, принимаем  $r_T = 6,4$  м;

$b$  – вынос переднего колеса относительно оси поворота колеса,  $b = 114$  мм;

$L'$  – координата положения центра поворота,  $L' = 2$  м.

$$\sin \alpha_{\text{нmax}} = L' / (r_T - b) \quad (7)$$

$$\sin \alpha_{\text{нmax}} = 2 / (6,4 - 0,114) = 0,31816,$$

$$\alpha_{\text{нmax}} = 18,5^\circ, \quad \alpha_{\text{н}} = 0,5 * \alpha_{\text{нmax}} = 9,25^\circ.$$

$$T_{\Sigma} = 21,41 + 569,53 + 722,06 = 1313 \text{ Н}$$

Общий КПД РУ для одной управляемой оси:

$$\eta_{\text{ру}} = 0,8.$$

Выбираем диаметр рулевого колеса из ряда значений, равным 425 мм.

Значение углового передаточного числа рулевого механизма равно

$$u_{\text{рм}} = 21,1.$$

КПД рулевого механизма типа винт-шариковая гайка-рейка-сектор:

прямой КПД  $\eta_{\text{рм}}^{\text{пр}} = 0,82$ ; обратный КПД  $\eta_{\text{рм}}^{\text{обр}} = 0,82$ .

Угловое передаточное число рулевого привода:

$$u_{\text{рп}} = \frac{2d\Omega}{d\alpha_n + d\alpha_l} \quad (8)$$

где  $d\Omega$ ,  $d\alpha_n$ ,  $d\alpha_l$  – элементарные углы поворота вала сошки, цапф правого и левого колес соответственно.

$$u_{\text{рп}} = 2 * 20 / (13 + 9) = 1,8,$$

КПД рулевого привода находим из выражения:

$$\eta_{py} = \eta_{pm} * \eta_{pn} , \quad (9)$$

$$\eta_{pn} = 0,8/0,82 = 0,97.$$

Силовое передаточное число рулевого привода находим из выражения:

$$\eta_{pn} = u'_{pp} / u_{pp} , \quad (10)$$

$$u'_{pp} = 0,97 * 1,8 = 1,75 .$$

В основу определения расчетных сил положены сила  $P_b$ , действующая от рулевого колеса в самых трудных условиях поворота, и обратные ей силы  $P_{p\tau}$ , действующие от управляемого колеса при одновременном наезде управляемых колес на препятствие или их неодинаковой интенсивности торможения. Силу  $P_b$  вычисляют по формуле:

$$P_b = T_{C\Sigma} / (R_p * \eta_{py} * u_{py}) \quad (11)$$

$$P_b = 1313 / (0,2125 * 0,8 * 21,1) = 366 \text{ Н},$$

где  $R_p$  – радиус рулевого колеса,  $R_p = 0,2125$  м;

$u_{py}$  – угловое передаточное число РУ,  $u_{py} = 21,1$ .

Силу  $P_{p\tau}$  определяют так:

$$P_{p\tau} = \frac{P_\tau * l_\tau * \eta_{py}}{R_p * u_{py}} \quad (12)$$

$$P_{p\tau} = \frac{6494,67 * 0,1 * 0,8}{0,2125 * 20,1} = 121,6 \text{ Н},$$

где  $P_\tau$  – тормозная сила на тормозящем управляемом колесе,

$$P_\tau = G_k * m_{\tau 1} * \varphi \quad (13)$$

					Лист
					26
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ

$$P_{\tau} = 7137 * 1,3 * 0,7 = 6494,67 \text{ Н,}$$

где  $m_{\tau 1}$  – коэффициент перераспределения реакций при торможении, для асфальто-бетонного покрытия  $m_{\tau 1} = 1,3$  ;

$l_{\tau}$  – плечо действия тормозной силы,  $l_{\tau} = 100 \text{ мм}$ .

Вал рулевого колеса рассчитывают на кручение:

$$\tau = T_p / W_p \quad (14)$$

$$\tau = 77,8 / (1,89 * 10^{-6}) = 41,2 * 10^6 \text{ Н/м}^2 ,$$

где  $T_p$  – крутящий момент на валу рулевого колеса,

$$\tau = 43,2 \text{ МПа} < [\tau] = 150 \text{ МПа} [1]$$

$$T_p = P_B * R_p \quad (15)$$

$W_p$  – полярный момент сопротивления сечения вала, для полого вала

$$T_p = 366 * 0,2125 = 77,8 \text{ Н*м}$$

$$W_p = 0,2 * (D^4 - d^4) / D \quad (16)$$

где  $D = 24 \text{ мм}$  и  $d = 18 \text{ мм}$  – наружный и внутренний диаметры.

$$W_p = 0,2 * (0,024^4 - 0,018^4) / 0,024 = 1,89 * 10^{-6} \text{ м}^3$$

## 2.2 Расчет рулевого механизма

Рассмотрим нагрузку на шарик в винтовом устройстве механизма, которая не должна превосходить допускаемую, рулевой механизм показан на рисунке 10.

$$P_{\text{шш}} \leq \frac{5 * P_{x\phi}}{n_r * z_{\text{ш}} * \cos \delta'_0} \quad (17)$$

$$\frac{5 * 18373}{4 * 9 * \cos 45^\circ} = 3284 \text{ МПа} \leq [P_{\text{шш}}] = 2500..3500 \text{ МПа}$$

					23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		27



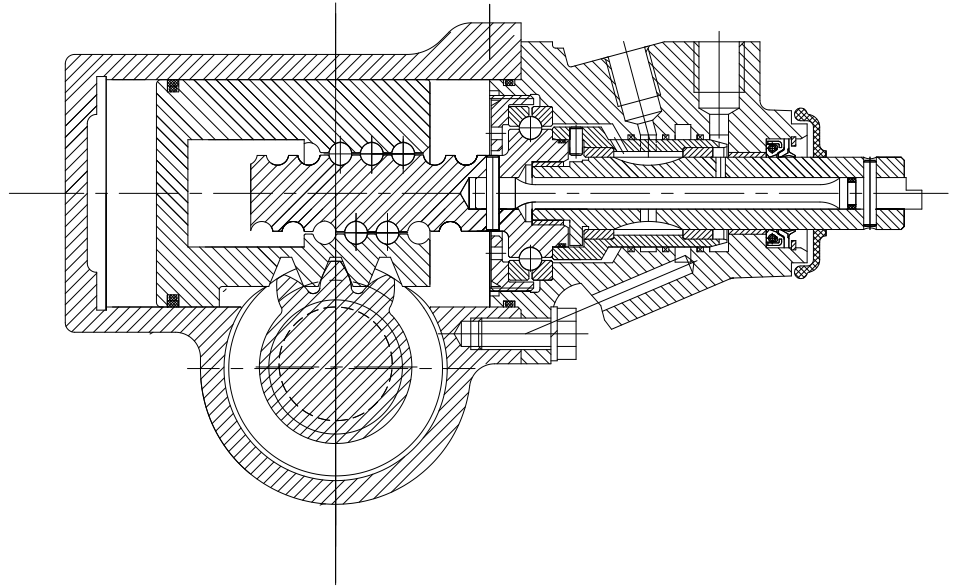


Рисунок 10 – Рулевой механизм

где  $P_{хв}$  – осевая сила, действующая на винт:

$$P_{хв} = \frac{2 * P_g * R_p}{d_g * tg(\beta + \rho'_k)} \quad (18)$$

где  $d_b$  – диаметр винта,  $d_b = 24$  мм;

$\beta$  – угол подъема оси винтового канала,  $\beta = 7^\circ$ ;

$\rho'_k$  – приведенный угол трения в нарезке винта,  $\rho'_k = 8^\circ$ ;

$n_\Gamma$  – число рабочих витков в гайке,  $n_\Gamma = 4$ ;

$z_{ш}$  – число шариков в одном витке,  $z_{ш} = 9$ ;

$\delta'_0$  – угол контакта шариков в беговой дорожке,  $\delta'_0 = 45^\circ$ .

$$P_{хв} = \frac{2 * 366 * 0,2125}{0,024 * tg15^\circ} = 18373 \text{ Н,}$$

Зубья сектора рассчитывают на изгиб и контактную прочность по формулам:

$$\sigma_u = \frac{2 * T_{C\Sigma}}{D_0 * u_{pn} * \eta_{pn} * y * b_c * t_c}, \quad (19)$$

$$\sigma_u = 42,5 \text{ МПа} < [\sigma_u] = 50 \text{ МПа} [1];$$

$$\sigma_u = \frac{2 * 1313}{0,056 * 1,8 * 0,97 * 3,5 * 0,01 * 0,018} = 42,5 \text{ МПа},$$

$$\sigma_\kappa = 0,418 \sqrt{\frac{4 * T_{C\Sigma} * E}{D_0^2 * u_{pn} * \eta_{pn} * b_c * \cos \alpha * \sin \alpha}} \quad (20)$$

$$\sigma_\kappa = 0,418 \sqrt{\frac{4 * 1313 * 2,1 * 10^6}{0,056^2 * 1,8 * 0,97 * 0,01 * \cos 8^\circ * \sin 8^\circ}} = 135 \text{ МПа},$$

$$\sigma_\epsilon = 135 \text{ МПа} < [\sigma_\epsilon] = 150 \text{ МПа} [1],$$

где  $t_c$  – шаг зубьев сектора,  $t_c = 18$  мм;

$D_0$  – диаметр начальной окружности сектора,  $D_0 = 56$  мм;

$y$  – коэффициент формы зуба,  $y = 3,5$  ;

$b_c$  – радиальная длина зубьев сектора,  $b_c = 10$  мм;

$\alpha$  – угол зацепления,  $\alpha = 8^\circ$  .

Передаточное отношение рулевого механизма:

$$i = \frac{\pi * m * z}{t} = \frac{\pi * 5 * 11}{10} = \frac{\pi * D_{\text{дел}}}{t} = 17,278759, \quad (21)$$

где  $t$  – шаг винтовой передачи,

$m$  – модуль зуба в зацеплении поршня-рейки и вала сошки,

$z$  – общее количество зубьев в зацеплении,

$D_{\text{дел}}$  – диаметр зацепления вала сошки и поршня-рейки

$$i = \frac{\pi * 5 * 11}{10} = 17,278759$$

					Лист
					29
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ

Угол поворота сошки:

$$\phi = \frac{n \cdot 360^\circ}{i} = \frac{n \cdot 360^\circ \cdot t}{m \cdot z \cdot \pi} \quad (22)$$

$n$  – количество оборотов рулевого колеса.

$$\phi = \frac{1440}{17,278759} = 83^\circ 33' 9318''$$

Число шариков винтовой передачи в рабочей части резьбы:

$$z_{ш.с} = \frac{\pi \cdot D_{ср} \cdot K}{d_{ш}} - 1 \quad (23)$$

$$z_{ш.шс} = \frac{\pi \cdot D_{ср} \cdot K}{d_{ш}} - 1 \quad (24)$$

$$z_{ш.с} = 21 + 5 + 2 + 2 = 30 \text{ шт};$$

$$z_{ш.шс} = 27,48 - 1 = 26 \text{ шт};$$

$$z_{ш} = z_{ш.в.} + z_{ш.шв} + 2z_{ш.вх}, \quad (25)$$

где  $z_{ш.вх}$  – число шариков входа;

$D_{ср}$  – диаметр окружности на которой располагаются центры шариков;

$D_{ср} = 29,7$  мм (теоретически);

$d_{ш} = 7,144$  мм - диаметр шарика;

$K$  – число витков в одной замкнутой рабочей цепочке.

### 2.3 Расчёт деталей рулевого управления

Производительность гидронасоса определяем по формуле:

$$Q_H = \frac{\chi \cdot 360 \cdot V_c}{\alpha_{\max} \cdot \eta_n} + \frac{\Delta Q}{\eta_n} \quad (26)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ

Лист

30

где  $\chi$  – число оборотов рулевого колеса в секунду, принимаем  $\chi = 1,5$  об/сек;

$V_c$  – объем вытесненной рабочей жидкости при ходе поршня из края в край,

$$Q_H = \frac{1,5 * 360 * 97,7}{864 * 0,85} + \frac{0,8}{0,85} = 7,3 \text{ л/мин}$$

$$V_c = F * S, \quad (27)$$

$$V_c = 40,6 * 2,4 = 97,7 \text{ см}^3$$

где  $F$  – активная площадь поршня,  $F = 40,6 \text{ см}^2$ ;  $\alpha_{\max}$  – максимальный угол поворота РУ:

$$\alpha_{\max} = (S/t) * 360^\circ, \quad (28)$$

$$\alpha_{\max} = (24/10) * 360 = 864^\circ,$$

где  $t$  – шаг винтовой канавки поршня, принимаем  $t = 10$  мм;

$\Delta Q$  – внутренние утечки в системе рулевого механизма при давлении  $0,5P_{\max}$  принимаем  $\Delta Q = 0,8$  л/мин;  $\eta_n$  – КПД гидронасоса, принимаем  $\eta_n = 0,85$ .

Принимаем насос ШНКФ 453471.098Е по ТУ РБ 00232153.021-95:

Максимальная объемная подача 12,5 л/мин;

Номинальная объемная подача при 800 об/мин – не менее 5,6 л/мин;

Номинальная объемная подача при 2000 об/мин – не более 10,5 л/мин;

Давление 9,0 + 0,5 МПа;

Масса 2,5 кг.

Расчёт стенки цилиндра на разрыв:

$$\sigma = \left[ \frac{0,1 \cdot r^2 + 1,3 \cdot R^2}{R^2 - r^2} \right] \cdot P_{\max}; \quad (29)$$

$$n = \frac{[\sigma]}{\sigma} \geq 3; \quad [\sigma] = 50 \text{ МПа}; \quad (30)$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ

Лист

31

$$\sigma = \left[ \frac{0,1 \cdot 40^2 + 1,3 \cdot 47^2}{47^2 - 40^2} \right] \cdot 110 = 5,47597 \text{ МПа};$$

$$n = \frac{50}{5,48} = 9,123 > 3,$$

где R – наружный диаметр гидроцилиндра; R=47 мм;

r – внутренний диаметр гидроцилиндра; r= 40 мм;

P<sub>max</sub> – максимальное внутреннее давление; P<sub>max</sub>=11,0 МПа.

Произведем расчет площади проходного сечения в базовом гидроусилителе.

На рисунке 11 показано положение ротора распределителя стандартного гидроусилителя относительно гильзы (со смещением).

Найдем площадь проходного сечения при повороте ротора относительно гильзы на угол  $\alpha = 5^\circ$ :

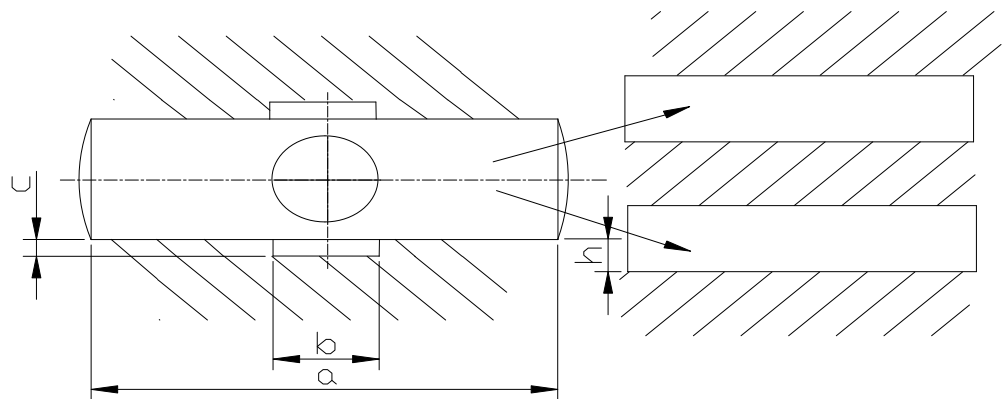


Рисунок 11 – Расчет площади проходного сечения в базовом гидроусилителе

$$S = S_1 + S_2 = b \cdot c + a \cdot h \quad (31)$$

$$S_1 = 4 \cdot 1 = 4 \text{ мм}^2,$$

$$S_2 = 22 \cdot 1 = 22 \text{ мм}^2,$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ

Лист

32

где  $S_1$  – площадь контакта лыски паза ротора с пазом гильзы;  $S_2$  – площадь контакта паза ротора с пазом гильзы. Отсюда общая площадь:

$$S = 22 + 4 = 26 \text{ мм}^2.$$

При повороте ротора относительно гильзы на угол  $\alpha = 10^\circ$ , площадь контакта обращается в ноль, что можно отобразить на графике в рисунке 12.

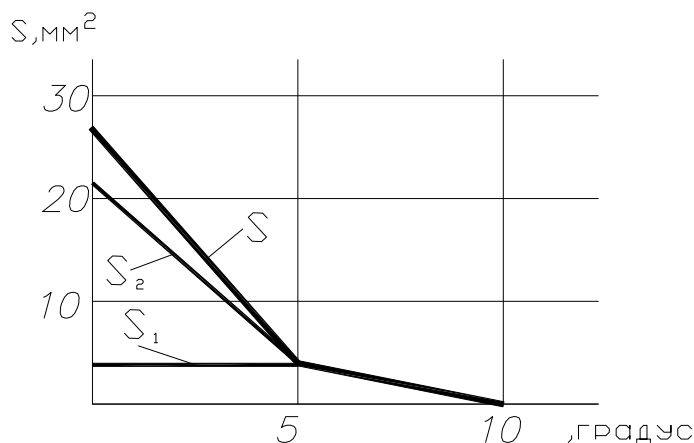


Рисунок 12 – Изменение площади проходного сечения в зависимости от угла поворота  $\alpha$

Аналогично предыдущему расчету, найдем площадь проходного сечения в проектируемом гидроусилителе. Изменение площади изображено на рисунке 13.

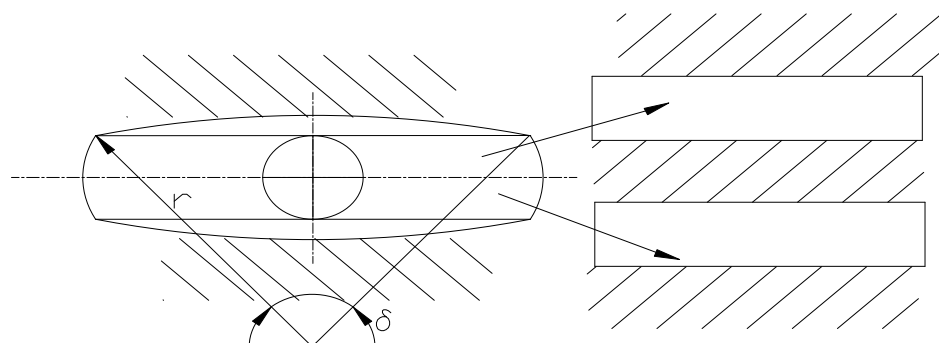


Рисунок 13 – Изменение площади проходного сечения в проектируемом гидроусилителе

Площадь сегмента определим по формуле:

$$S_{\text{сегм}} = \frac{\pi \cdot r^2}{360} \cdot \delta - S_{\text{сектор}} \quad (32)$$

где  $r$  – радиус окружности,  $r = 48$  мм;  $\delta$  - угол раскрытия сектора;

$S_{\text{сектор}}$  – площадь сектора,  $S_{\text{сектор}} = 493$  мм<sup>2</sup>.

$$S_{\text{сегм}} = \frac{\pi \cdot 48^2}{360} \cdot 26 - 493 = 30 \text{ мм}^2,$$

Посчитаем изменение площади сегмента при повороте ротора через каждый градус:

При повороте на 1°  $S_{\text{сегм}} = 28$  мм<sup>2</sup>;

на 2°  $S_{\text{сегм}} = 26.8$  мм<sup>2</sup>;

на 3°  $S_{\text{сегм}} = 25$  мм<sup>2</sup>;

на 4°  $S_{\text{сегм}} = 20$  мм<sup>2</sup>;

на 5°  $S_{\text{сегм}} = 18$  мм<sup>2</sup>;

на 6°  $S_{\text{сегм}} = 16.4$  мм<sup>2</sup>;

на 7°  $S_{\text{сегм}} = 12$  мм<sup>2</sup>;

на 8°  $S_{\text{сегм}} = 7.7$  мм<sup>2</sup>;

на 9°  $S_{\text{сегм}} = 3$  мм<sup>2</sup>;

на 10°  $S_{\text{сегм}} = 0$  мм<sup>2</sup>;

Изменение площади показано на рисунке 14.

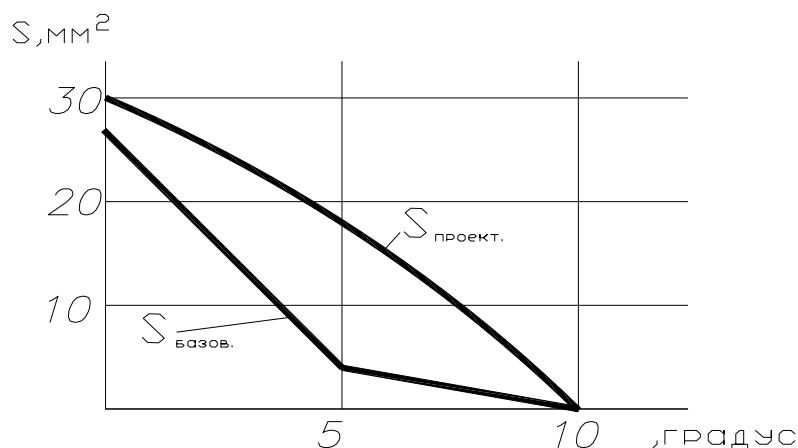


Рисунок 14 – Изменение площади проходного сечения в зависимости от угла поворота  $\alpha$  в проектируемом усилителе

Полный момент на валу сошки определяется по формуле:

$$M_{\Pi} = M_{Г} + M_{В} , \quad (33)$$

где  $M_{Г}$  – момент, создаваемый давлением масла в рулевом механизме;

$M_{В}$  – момент, создаваемый водителем при приложении усилия на рулевое колесо.

$$M_{Г} = S \cdot p \cdot D\delta \cdot 0,5 \cdot \eta \quad (34)$$

где  $p$  – рабочее давление в системе гидроусилителя руля, принимаем  $p = 90$  МПа;

$\eta$  – КПД, принимаем  $\eta = 0,82$ ;

$D_{д}$  – делительный диаметр,  $D\delta = m \cdot z = 5 \cdot 11 = 55$  мм;

$S$  – активная площадь поршня,  $S = 400$  мм<sup>2</sup>.

$$M_{Г} = 400 \cdot 90 \cdot 55 \cdot 0,5 \cdot 0,82 = 841500 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 84,15 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$M_{В} = F \cdot p \cdot D\delta \cdot 0,5 \cdot \eta \quad (35)$$

где  $F$  – усилие, создаваемое водителем на рулевом колесе, принимаем  $F = 4$  кг.

$$M_{В} = 4 \cdot 212,5 \cdot 17,28 \cdot 0,82 = 12044,16 \text{ Н} \cdot \text{мм} = 12 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$\text{Тогда } M_{\Pi} = 84,15 + 12 = 96,15 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Максимально возможное усилие  $F_{\max}$ , приложенное к рулевому колесу для создания момента сошки  $2600 \text{ Н} \cdot \text{мм}$  (согласно ТУРБ 00232153.044-98, шлицы вала сошки выдерживают момент  $2600 \text{ Н} \cdot \text{мм}$  не разрушаясь).

Согласно формуле:

									Лист
									35
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ				



$$M_{\text{пmax}} = M_{\text{Г}} + M_{\text{вmax}}, \quad (36)$$

где  $M_{\text{пmax}}$  – момент, создаваемый давлением масла в рулевом механизме на валу сошки, при  $p_{\text{max}} = 90 \text{ МПа}$   $M_{\text{пmax}} = 2600 \text{ Н} \cdot \text{мм}$ ;

$$M_{\text{ввта}} = F_{\text{max}} \cdot R_{\text{р}} \cdot U_{\text{рр}} \cdot \eta, \quad (37)$$

где  $R_{\text{р}}$  – радиус рулевого колеса,  $R_{\text{р}} = 0,2125 \text{ м}$ ;

$$F_{\text{max}} = \frac{M_{\text{пmax}} - M_{\text{г}}}{R_{\text{р}} \cdot U_{\text{рм}} \cdot \eta} \quad (38)$$

$$F_{\text{max}} = \frac{2600 - 84,15}{0,2125 \cdot 17,28 \cdot 0,82} = 580 \text{ Н} = 58 \text{ кг}.$$

Основными материалами для валов ротора распределителя служат углеродистые и легированные стали. Выбираем марку стали 40Х.

Обычно выбирают сечения вала, проходящих по уступам, канавкам, концам шлицевых, шпоночных пазов, участков с резьбой и по торцам насаженных с натягом деталей. В намеченных сечениях определяют номинальные напряжения изгиба и кручения. В нашем случае вал рассчитываем только на кручение, так как на изгиб вал не работает:

$$\tau = \frac{M_{\text{к}}}{W_{\text{р}}}, \quad (39)$$

где  $M_{\text{к}}$  – вращающий момент;

$W_{\text{р}}$  – момент сопротивления сечения вала при кручении.

$$M_{\text{к}} = P \cdot R, \quad (40)$$

где  $P$  – сила, действующая на рулевое колесо от водителя,  $P = 366 \text{ Н}$ ;

$R$  – радиус рулевого колеса,  $R = 0,2125 \text{ м}$ .

$$M_{\text{к}} = 366 \cdot 0,2125 = 77,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

					Лист
					36
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ

$$W_p = \frac{\pi \cdot D^3}{16} \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^4 \right], \quad (41)$$

где  $D$  – внешний диаметр вала,  $D = 22,9$  мм;

$d$  – внутренний диаметр вала,  $d = 10$  мм.

$$W_p = \frac{\pi \cdot 22,9^3}{16} \left[ 1 - \left( \frac{10}{22,9} \right)^4 \right] = 1499,77 \frac{H}{\text{мм}^2}.$$

Таким образом  $\tau = \frac{77800}{1499,77} = 51,5 \frac{H}{\text{мм}^2},$

$$\tau = 51,5 \text{ МПа} \leq [\tau] = 150 \text{ МПа} [1].$$

Наиболее опасным сечением вала является участок А-А, как показано на рисунке 15.

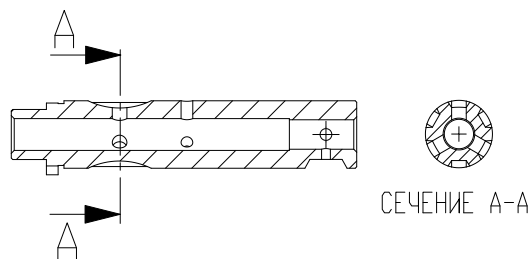


Рисунок 15 – Вал-ротор

Номинальное напряжение кручения по сечению А-А определяется по формуле:

$$\tau = \frac{M_k}{J_p} \cdot R_{\max}, \quad (42)$$

где  $M_k$  – вращающий момент,  $M_k = 77800 \text{ Н} \cdot \text{мм}$ ;  $J_p$  – полярный момент инерции;

$$J_p = J_{p\text{кольца}} - 6 \cdot J_{p\text{пр}} - 3 \cdot J_{p\text{оро}}, \quad (43)$$

где  $J_{p\text{кольца}}$  – полярный момент инерции кольца,

$$J_{p\text{кольца}} = \frac{\pi \cdot D^4}{64} \left[ 1 - \left( \frac{d}{D} \right)^4 \right], \quad (44)$$

где  $d$  – внутренний диаметр вала,  $d = 10 \text{ мм}$ ;

$D$  – внешний диаметр вала,  $D = 22.9 \text{ мм}$ .

Опасное сечение А-А показано на рисунке 16.

$$J_{p\text{кольца}} = \frac{\pi \cdot 22,9^4}{64} \left[ 1 - \left( \frac{10}{22,9} \right)^4 \right] = 12824,978.$$

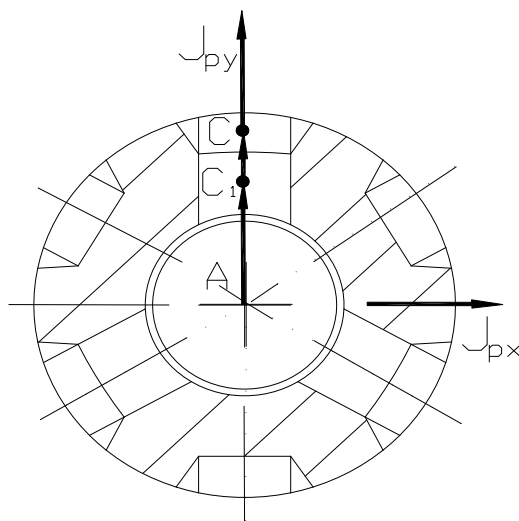


Рисунок 16 – Опасное сечение А-А

$$J_{p\text{паз}} = J_{p\text{х}} + J_{p\text{у}}, \quad (45)$$

где  $J_{p\text{х}}$  – полярный момент инерции паза по оси X;

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ

Лист

38

$J_{py}$  – полярный момент инерции паза по оси Y.

$$J_{px} = \frac{b \cdot h^3}{12}, \quad (46)$$

где  $b$  – глубина паза,  $b = 3$  мм;  $h$  – средняя линия трапеции,  $h = 6$  мм.

$$J_{px} = \frac{3 \cdot 6^3}{12} = 54 \text{ мм}^3.$$

$$J_{py} = \frac{b^3 \cdot h}{12} + AC^2 \quad (47)$$

$$J_{py} = \frac{3^3 \cdot 6}{12} + 9,45^2 = 102,8 \text{ мм}^3,$$

где  $AC$  – расстояние от центра вала до центра паза.

$$J_{p \text{ паз}} = 54 + 102,8 = 156,8 \text{ мм}^3.$$

$J_{p \text{ отв}}$  – полярный момент инерции отверстия.

$$J_{p \text{ отв}} = J_{px} + J_{py} \quad (48)$$

$$J_{px} = \frac{b \cdot h^3}{12} \quad (49)$$

$$J_{py} = \frac{b^3 \cdot h}{12} + AC_1^2 \quad (50)$$

где  $b$  – диаметр отверстия,  $b = 5$  мм,  $h$  – высота отверстия,  $h = 4$  мм,

$AC_1$  – расстояние от центра вала до центра отверстия;

$$J_{px} = \frac{5 \cdot 4^3}{12} = 26,66 \text{ мм}^3, \quad J_{py} = \frac{5^3 \cdot 4}{12} + 7^2 = 90,66 \text{ мм}^3,$$

$$J_{p \text{ отв}} = 26,66 + 90,66 = 117,32 \text{ мм}^3.$$

Таким образом  $J_p = 12824,978 - 6 \cdot 156,8 - 3 \cdot 117,32 = 12532 \text{ мм}^3$ .

Тогда номинальное напряжение будет равно:

					<i>23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		39

$$\tau = \frac{M_k}{J_p} \cdot R \max, \quad (51)$$

$$\tau = \frac{77800}{12532} \cdot 22,9 = 142 \frac{H}{мм^2},$$

$$\tau = 142 МПа \leq [\tau] = 150 МПа .$$

В расчетах валов принимают, что напряжение кручения изменяется по нулевому циклу. Тогда амплитуда напряжений определяется по формулам:

$$\tau_m = 0,5 \cdot \tau; \quad (52)$$

$$\tau_a = 0,5 \cdot \tau. \quad (53)$$

Коэффициент запаса прочности по усталости при кручении равен:

$$S = \frac{S_\tau}{\sqrt{S_\tau}}, \quad (54)$$

где  $S_\tau$  – коэффициент запаса прочности по касательным напряжениям;

$$S_\tau = \frac{\tau_{-1}}{\left( \frac{k_\tau}{k_{d\tau}} + \frac{1}{k_{F\tau}} - 1 \right) \cdot \frac{\tau_a}{k_V} + \psi_\tau \cdot \tau_m}, \quad (55)$$

где  $\tau_{-1}$  – предел выносливости материала вала при кручении с симметричным циклом,  $\tau_{-1} = 240 МПа$ ;

$k_{d\tau}$  – коэффициент влияния абсолютных размеров поперечного сечения при кручении,  $k_{d\tau} = 0,83$  [8];

$k_{F\tau}$  – коэффициент влияния шероховатости поверхности при кручении,  $k_{F\tau} = 0,425$  [8];

$k_V$  – коэффициент влияния поверхностного упрочнения, вводимый для валов с упрочнением поверхности,  $k_V = 1,1$  [8];

					Лист
					40
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ

$\psi_\tau$  – коэффициент, характеризующий влияние асимметрии цикла напряжений при кручении,  $\psi_\tau=0,5$  [8];

$k_\tau$  – эффективные коэффициенты концентрации напряжений при кручении,  $k_\tau=2,05$  [8].

$$S_\tau = \frac{240}{\left(\frac{2,05}{0,83} + \frac{1}{0,425} - 1\right) \cdot \frac{61,5}{1,1} + 0,5 \cdot 61,5} = 9,321.$$

Тогда 
$$S = \frac{9,321}{\sqrt{9,321}} = 3,05,$$

$$S = 3,05 > [S] = 1,8.$$

Параметры принимаем из принятого прототипа на проектирование.

Момент, подводимый от рулевого механизма к сошке, равен произведению осевого усилия, действующего на винт Q, на радиус начальной окружности шестерни –  $r_0$  ( $r_0=17,5$ мм), схема к расчету сошки изображена на рисунке 17. Усилие на шаровом пальце сошки будет:

$$P_c = \frac{Q \cdot r_0}{c},$$

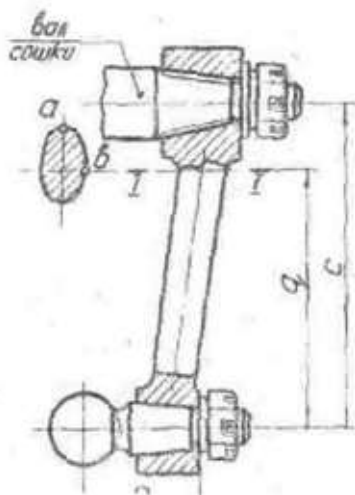


Рисунок 17 – схема к расчету сошки

где  $q$  – плечо;  $a$  – максимальное напряжение изгиба;  $b$  – максимальное напряжение кручения.

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ

Лист

41

$$P_c = \frac{7056,7 \cdot 17,5}{16} = 7718,3 \text{ Н},$$

Усилие  $P_c$  изгибает сошку в плече  $q=17,3$  мм (от шарового пальца до опасного сечения I-I) и одновременно скручивает сошку в плече  $p=5$  см. Максимальное напряжение изгиба будет в точке "а", а максимальное напряжение кручения - в точке "б".

Эквивалентное напряжение растяжения в точке а:

Напряжение кручения в точке "б":

Моменты сопротивления изгибу и кручению овального сечения определяем согласно курсу механики материалов:

Эквивалентное напряжение растяжения в точке «а» определяется по формуле:

$$\sigma_a = P_c \sqrt{\frac{q^2}{W_{изг}^2} + 4 \frac{p}{W_{кр}^2}}$$

где:  $W_{изг} = 0,1a^2b$ ,  $W_{изг} = 0,1 \cdot 0,04^2 \cdot 0,025 = 4 \cdot 10^{-6}$ ,

$W_{кр} = 0,2ab^2$ ,  $W_{кр} = 0,2 \cdot 0,04 \cdot 0,025^2 = 5 \cdot 10^{-6}$ ,

Принимаем:  $q=0,173$  м;  $p=0,04$  м;

Подставив данные значения в формулу получим:

$$\sigma_a = 7718,3 \sqrt{\frac{0,173^2}{(4 \cdot 10^{-6})^2} + 4 \frac{0,04^2}{(5 \cdot 10^{-6})^2}} = 385,24 \text{ МПа}$$

Напряжение кручения определяется по формуле:

$$\tau_{кр} = \frac{P_c \cdot p}{W_{кр}}$$

Подставив значения получим:

$$\tau_{кр} = \frac{7718,3 \cdot 0,04}{5 \cdot 10^{-6}} = 44,12 \text{ МПа}$$

					Лист
					42
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ

Расчет шарового пальца на смятие и изгиб производим по формулам:

$$\sigma_{см} = \frac{4P_c}{\pi \cdot d^2} < 35 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{изг} = \frac{P_c \cdot p}{0,1 \cdot d_n^3} < 400 \text{ МПа}$$

где:  $d$  – диаметр шаровой головки пальца;

$d_n$  – диаметр шарового пальца в опасном сечении.

Принимаем:  $d = 0,03 \text{ м}$ ;  $d_n = 0,018 \text{ м}$

Подставив значения в формулы получим:

$$\sigma_{см} = \frac{4 \cdot 7718,13}{3,14 \cdot 0,03^2} = 10,92 < 35 \text{ МПа}$$

$$\sigma_{изг} = \frac{7718,13 \cdot 0,04}{0,1 \cdot 0,018^3} = 378,24 < 400 \text{ МПа}$$

Продольная рулевая тяга рассчитывается на сжатие и продольный изгиб от силы, подводимой от шарового пальца сошки  $P_c$ . Растяжение тяг является малоопасным. Схема к расчету продольной тяги изображена на рисунке 18.

Расчет на сжатие:

$$F = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4},$$

где  $F$  – поперечное сечение трубы,  $\text{см}^2$

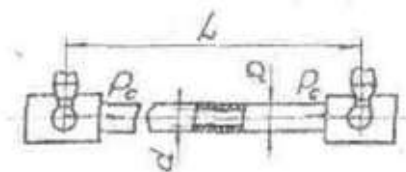


Рисунок 18 – Схема к расчету продольной тяги

$$F = \frac{3,14 \cdot (3^2 - 2,5^2)}{4} = 2,16 \text{ см}^2,$$

Расчет на продольный изгиб



где  $I$  – экваториальный момент инерции сечения ( $I=2,05\text{см}^4$ );

$E$  - модуль упругости ( $E=2,1 \cdot 10^6 \text{кгс/см}^2$ )

Запас устойчивости для поперечной рулевой тяги:

Расчет поперечной рулевой тяги и боковых рычагов рулевой трапеции производим из условия приложение к управляемым колесам максимального тормозного момента, рисунок 19.

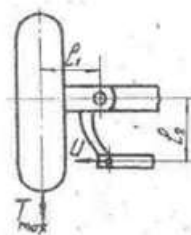


Рисунок 19 – Схема для определения усилия нагружения поперечной тяги

Наибольшая сила, действующая на одно переднее колесо

$$T_{\max} = \frac{G_1}{2} \cdot m_c \varphi,$$

$$T_{\max} = \frac{7137}{2} \cdot 1,4 \cdot 0,7 = 3497,13 \text{Н},$$

где  $G_1$  – статическая нагрузка, действующая на передний мост;  $m_c$  - коэффициент перераспределения при торможении ( $m_c=1,4$ );

$\varphi$  – коэффициент сцепления ( $\varphi=0,7$ ).

Сила, действующая на поперечную тягу.

$$T_{\max} = \frac{T_{\max} \cdot l_1}{l_2},$$

$$T_{\max} = \frac{3497,13 \cdot 14,5}{15} = 3380,6 \text{Н},$$

Расчет поперечной рулевой тяги на сжатие и продольный изгиб

$$F_1 = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4},$$

$$F_1 = \frac{3,14 \cdot (3,5^2 - 2,5^2)}{4} = 4,71 \text{см}^2,$$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ

Лист

44

где  $F_1$  – поперечное сечение трубы поперечной тяги,  $\text{см}^2$  - экваториальный момент инерции сечения ( $I=2,05\text{см}^4$ );

$L_1$  – длина тяги между шаровыми пальцами боковых рычагов.

#### Запас устойчивости

Расчет боковых рычагов трапеции ведется на изгиб и кручение аналогично расчету сошки на усилие  $U$

Выбираем материал и проверяем на напряжение изгиба и кручения с допускаемыми значениями

Для сошки выбираем сталь марки 40Х (улучшение),  $\sigma_{вр} = 8500\text{Н/см}^2$

Для рычагов рулевой трапеции выбираем сталь марки 40Х (улучшение),  $\sigma_{вр} = 8500\text{Н/см}^2$

Для боковой и продольной тяг выбираем сталь марки 40Х (улучшение),  $\sigma_{вр} = 8500\text{Н/см}^2$ .

Вывод по разделу два:

Произведя расчет рулевого управления, а именно электрогидравлического усилителя для УАЗ-3163, было выявлено, что конструкция проектируемого гидроусилителя отличается от базовой из-за изменения площади проходного сечения, а так же выбрали марку стали 40Х для следующих деталей рулевого управления: вала ротора, сошки, рычагов рулевой трапеции, боковой и продольной тяг. Из расчета следует, что условия прочности соблюдаются. Прочностные расчеты показали, что элементы рулевого управления обладают достаточной прочностью для длительной эксплуатации.

									Лист
									45
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ				



- проверить состояние подшипников шкворневых соединений;
- проверить установку подшипников ступиц;
- снять крышку ступицы, расстопорить и отвернуть контргайку, снять стопорную и замковую шайбу;
- установить подшипники в правильное положение;
- затянуть ступичную гайку, установить шайбу и контргайку;
- проверить схождение колес;
- отрегулировать схождение колес изменением положения тяги в наконечнике;
- проверить свободный ход и осевое перемещение рулевого колеса.

Номенклатура параметров диагностирования рулевого управления (по РД 46448970–1040–99).

Таблица 1 – Параметры подвергаемые диагностике

Суммарный зазор (люфт) в рулевом управлении	град
Зазор в сопряжениях рулевой трапеции	мм
Давление в системе нагнетания насоса гидроусилителя	кгс/см <sup>2</sup>
Прогиб ремня привода насоса гидроусилителя при заданном усилии нажатия	мм
Усилие вращения рулевого колеса	кгс
Зазор между упором и рейкой рулевого механизма	мм
Уровень масла в картере механизма рулевого управления	мм
Схождение управляемых колес	мм (град)
Развал управляемых колес	град
Поперечный наклон шкворня	град
Продольный наклон шкворня	град
Соотношение углов поворота	–

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата

23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ

Лист

47

Таблица 2 – Регламентированные работы по видам

Наименование услуги	Работы выполняемые по услуге
Регламентные работы (по видам технического обслуживания)	Необходимые комплексы работ, устанавливаемых документацией завода-изготовителя или предприятия-заявителя по пробегу автомобилей, проводимых в виде профилактических мероприятий по соответствующим агрегатам и узлам
Регулировка углов установки управляемых колес	Проверка и регулировка зазора в подшипниках ступиц управляемых колес и схождения управляемых колес
	Определение и фиксация максимального угла поворота управляемых колес
	Определение нарушений параллельности мостов и их смещений по оси автомобиля, регулировка
Регулировка рулевого управления	–по рулевому механизму
	Проверка герметичности рулевого механизма
	Регулировка рулевого механизма
	Проверка и регулировка работы гидроусилителя руля
	–по приводу

Выводы по разделу 3: на основе проанализированных требований по установке электрогидравлического усилителя составляем технологическую карту.

## 4 ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

### 4.1 Оценка уровня качества проектируемого рулевого управления

В выпускной квалификационной работе разрабатывается электрогидравлическое рулевое управление для полноприводного автомобиля с маятниковой подвеской. Я предлагаю доработать путём внедрения элемента: гидроаккумулятора.

Определяем относительный единичный показатель качества по формуле:

$$q_{ij} = \frac{S_{anij}}{S_{ni}} \quad (56)$$

где  $q_{ij}$  – относительный  $i$ -ый показатель качества по сравнению с  $j$ -ым образцом;

$S_{anij}$  – абсолютное значение  $i$ -ого показателя  $j$ -ого образца (аналога);

$S_{ni}$  – абсолютное значение  $i$ -ого показателя модернизированной конструкции.

Определяем относительный обобщенный  $k$ -ый показатель качества по отношению к  $j$ -ому образцу:

$$Q_{jk} = \sum_{i=1}^n q_{ij} \cdot m_i \quad (57)$$

где  $m_i$  – коэффициент весомости  $i$ -ого единичного показателя;

$n$  – число исследуемых показателей.

Уровень качества нового изделия по отношению к  $j$ -ому образцу:

$$УК_j = \sum_{k=1}^l Q_{kj} \cdot m_k, \quad (58)$$

где  $m_k$  – коэффициент весомости  $k$ -ого обобщенного показателя;

$Q_{kj}$  – значение обобщенного  $k$ -ого показателя  $j$ -ого образца;

$l$  – число обобщенных показателей.

Уровень качества (УК) нового изделия определяется как сумма всех его интегральных обобщенных показателей.

					Лист
					49
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	

23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ

Если  $УК_j > 1$ , то качество превосходит j-ый образец,  
если  $УК_j < 1$  – нужна доработка по тем показателям качества, которые хуже.

Для оценки уровня качества проектируемого рулевого управления используются следующие обобщающие показатели: назначение, надежность, технологичность, унификация, эргономичность, патентно-правовые показатели, эстетичность, экономичность.

Оценка уровня качества проектируемого рулевого управления относительно стандартного, отвечающая ГОСТ 22732-77 Методы оценки уровня качества промышленной продукции, представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Оценка уровня качества проектируемого рулевого управления

Наименование показателя	Коэффициент весомости		Абсолютные значения		Относительный показатель	Интегральный	
	обобщенный	единичный	Нового изделия	Аналог		единичный	обобщенный
1.Назначение	0,3						0,354
1.1. Усилие на рулевом колесе, Н.		0,2	80	120	0,66	0,132	
1.2. Точность управления, %.		0,15	1,5	1	1,5	0,225	
1.3. Комфортность, %.		0,15	1,5	1	1,5	0,225	
1.4. Следящее действие, %.		0,4	1,5	1	1,5	0,6	
Σ		1				1,18	
2. Надежность	0,3						0,423
2.1. Ресурс до капремонта, тыс. км.		0,4	140000	120000	1,16	0,46	
2.2. Гарантийный ресурс, тыс. км.		0,4	90000	70000	1,28	0,68	

## Окончания таблицы 3

2.3.Ресурс до регулировки, тыс.км.		0,2	40000	30000	1,33	0,266	
Σ		1				1,41	
3.Технологичность	0,2						0,226
3.1.Масса,кг.		0,5	20	12,5	1,6	0,8	
3.2.Удобство ремонта и обслуживания		0,5	1	1,5	0,66	0,333	
Σ		1				1,13	
4.Унификация	0,2						0,240
4.1.Удельный коэф. применимости		0,5	0,6	0,4	1,5	0,75	
4.2.Удельный вес заимств. деталей		0,5	90	100	0,9	0,45	
Σ		1				1,2	
Уровень качества						1,24	

В результате проведенной оценки уровня качества проектируемого рулевого управления установили, что спроектированный привод превосходит стандартный по многим параметрам, также имеет сравнительно низкую цену. Уровень качества модернизированного рулевого управления  $>1$ , т.е. улучшение показателей других свойств выше, чем снижение показателей этих свойств.

Предлагаемая конструкция рулевого управления лучше стандартной, т.к. при снижении её себестоимости значительно улучшаются ее эксплуатационные показатели. Это и показывает коэффициент уровня качества ( $УК > 1$ ).

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ

Лист

51



## 4.2 Расчет годового экономического эффекта

Годовой экономический эффект от внедрения конструкции электрогидроусилителя РУ на базе автомобиля УАЗ-3163:

$$\mathcal{E} = (C_1 + K_1 \cdot E_n) \cdot \beta - (C_2 + K_2 \cdot E_n), \quad (59)$$

где  $C_1, C_2$  – себестоимость годового объема производства по стандартному варианту и по модернизированной конструкции усилителя, руб.;  $K_1, K_2$  – капитальные вложения по стандартному варианту и по модернизированному варианту;  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;  $\beta$  – коэффициент эквивалентности приведения показателей стандартного варианта к модернизированному по качеству ( $\beta_{\text{кач}}$ ) и фактору времени ( $\beta_t$ ):

$$\beta = \beta_{\text{кач}} \quad (60)$$

где  $\beta_{\text{кач}}$  – коэффициент новой конструкции рулевого управления по отношению к базовой ( $\beta_{\text{кач}} = 1,24$ );

Расчет капитальных затрат производим по табл. 4.

Таблица 4 – Расчет капитальных затрат, в руб.

Наименование затрат	Стандартный вариант	Проект
1. Стоимость зданий и сооружений	$K_{\text{зд}} = \sum_{i=1}^n \Pi_{\text{зд}} \cdot f_i \cdot c_i \cdot K_{\text{д}}$	$K_{\text{зд}} = \sum_{i=1}^n \Pi_{\text{зд}} \cdot f_i \cdot c_i \cdot K_{\text{д}}$
2. Стоимость оборудования	$K_{\text{об}} = \sum_{i=1}^n \Pi_{\text{об}i} \cdot c_i \cdot K_{\text{мд}}$	$K_{\text{об}} = \sum_{i=1}^n \Pi_{\text{об}i} \cdot c_i \cdot K_{\text{мд}}$

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ

Лист

52

Окончания таблицы 4

3. Стоимость малоценного инструмента и оснастки	$K_{ин} = \sum_{i=1}^n C_{инi} \cdot N_i$	$K_{ин} = \sum_{i=1}^n C_{инi} \cdot N_i$
4. Затраты на НИОКР	--	$K_{ниокр} = C_{ниокр} \cdot T_{ниокр}$
Итого ОПФ	$K_{опф} = K_{зд} + K_{об} + K_{ост} + K_{ин}$	$K_{опф} = K_{зд} + K_{об} + K_{ост} + K_{ин} + K_{ниофк}$
5. Оборотные средства	$K_{ос} = 0,6 \cdot K_{опф}$	$K_{ос} = 0,6 \cdot K_{опф}$
Всего капитальные затраты	$K = K_{опф} + K_{ос}$	$K = K_{опф} + K_{ос}$

Примечания:

Условные обозначения в расчетных формулах:

$C_{зд}$  – цена за 1 м<sup>2</sup> производственного здания;

$f_i$  – площадь, занимаемая i-м станком, м<sup>2</sup>;

$C_i$ , – число станков i-и модели, шт.;

$n$  – число типов станков;

$K_d$  – коэффициент дополнительной площади (на проходы, проезды),

принимается:

$C_{об}$  – рыночная цена оборудования, руб.;

$K_{мд}$  – коэффициент, учитывающий затраты на доставку, монтаж оборудования;

$C_{инi}$  – цена единицы инструмента определенной категории;

$N_i$  – наличие инструмента определенной категории;

$K_{опф}$  – капитальные затраты в основные производственные фонды, руб.;

$K_{ос}$  – капитальные затраты и оборотные средства, руб.

Оптовая цена оборудования приведена в таблице табл. 5.



$$C_{ин} = 280 \text{ руб.}; N_i = 300 \text{ шт.};$$

$$K_{ин} = 280 \cdot 300 = 84 \text{ тыс. руб.};$$

для модернизированного варианта

$$C_{ин} = 280 \text{ руб.}; N_i = 315 \text{ шт.};$$

$$K_{ин} = 280 \cdot 315 = 88 \text{ тыс. руб.}$$

Стоимость цеха:

для стандартного варианта

$$C_{зд} = 80 \text{ руб/м}^2.; f_i = 6,6 \text{ м}^2.; c_i = 10 \text{ шт.}; K_{\delta} = 3,5;$$

$$K_{зд} = 80 \cdot 6,6 \cdot 10 \cdot 3,5 = 17960 \text{ тыс. руб.};$$

для модернизированного варианта

$$C_{зд} = 80 \text{ руб/м}^2.; f_i = 7,2 \text{ м}^2.; c_i = 11 \text{ шт.}; K_{\delta} = 3,5;$$

$$K_{зд} = 80 \cdot 7,2 \cdot 10 \cdot 3,5 = 21170 \text{ тыс. руб.}$$

Оборотные средства:

для стандартного варианта

$$K_{oc} = 0,6 \cdot K_{онф} = 0,6 \cdot 48441 = 29064 \text{ тыс.руб.};$$

для модернизированного варианта

$$K_{oc} = 0,6 \cdot K_{онф} = 0,6 \cdot 62890 = 37734 \text{ тыс.руб.}$$

Произведенный расчет представим в табл. 6.

Таблица 6 – Капитальные затраты, в руб.

Наименование затрат	Стандартный вариант	Проект
1. Стоимость зданий и сооружений, тыс. руб.	17960	21170
2. Стоимость оборудования, тыс. руб.	34408	79222
3. Стоимость инструмента и технологической оснастки, тыс.руб.	84	88
Итого ОПФ, тыс.руб.	48441	62890
4. Оборотные средства, тыс.руб.	29064	37734

Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата
------	------	----------	---------	------

23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ

Лист

55

Окончание таблицы 6

Всего капитальные затраты, тыс.руб.	129957	201104
--	--------	--------

4.3 Расчет себестоимости

Экономическим обоснованием проекта является доказательство того, что при затратах на модернизацию и создание электрогидравлического усилителя для автомобиля УАЗ, путём модернизации стандартной версии усилителя, существует реальная возможность экономии средств, в будущем при обслуживании данного вида усилителя рулевого управления.

Произведем расчет сравнения стандартного усилителя с модернизированной версией.

Затраты на сырье, материалы и покупные изделия:

$$Z_m = H_m \cdot C_m - H_o \cdot C_o \text{ руб.}, \quad (61)$$

где  $H_m$  и  $H_o$  – нормы на расход материала и норма отходов соответственно, кг;  $C_m$  и  $C_o$  – цены материала и отхода соответственно, руб./кг;

Расчет себестоимости базового и проектируемого рулевого управления сведен в табл. 7.

Таблица 7 – Результаты расчета себестоимости вариантов рулевого управления

Элемент	Кол-во на автомобиль	Стандартный		Новый	
		Себестоимость элемента $S_i$ , руб	Сумма, руб	Себестоимость элемента $S_i$ , руб	Сумма, руб
1	2	3	4	5	6
Рулевой механизм	1	9000	9000	11000	11000
Детали крепления рулевого механизма	1	30	30	30	30



$K_r$  – коэффициент использования оборудования по времени;

$K_{nc}$  – коэффициент потерь электроэнергии в сетях.

Для стандартного варианта:

$C_{эн} = 1,2$  руб.;  $A = 10000$  шт.;  $N_{об} = N = 5$  кВт;

$$F_{эф} = c_i \cdot f \quad (64)$$

$$F_{эф} = 10 \cdot 37000 = 370000 \text{ ч}$$

$K_N = 0,85$ ;  $K_r = 0,8$ ;  $K_{nc} = 1,1$ ;

$$W_{эн} = 5 \cdot 370000 \cdot 0,85 \cdot 0,8 \cdot 1,1 = 1383800 \text{ кВт ч};$$

$$З_T = \frac{1383800}{10000} \cdot 1,2 = 166,06 \text{ руб.};$$

Для модернизированного варианта:

$A = 10000$  шт.;  $N_{об} = N = 6$  кВт;

$$F_{эф} = 11 \cdot 37000 = 407000 \text{ ч}$$

$$W_{эн} = 6 \cdot 407000 \cdot 0,85 \cdot 0,8 \cdot 1,1 = 1826616 \text{ кВт ч};$$

$$З_T = \frac{1826616}{10000} \cdot 1,2 = 219,19 \text{ руб.};$$

Основной фонд заработной платы рассчитаем:

$$З_{зно} = \sum_{j=1}^m \frac{t_{ум}}{60} \sum_{i=1}^n \left( \frac{t_{см}}{H_{обс}} \right), \text{ руб.} \quad (65)$$

где  $t_{ум}$  – норма штучного времени выполнения  $j$ -й операции;  $m$  – число операций;  $n$  – число квалификационных групп работников;  $t_{ум}$  – часовая

					<i>23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		58

тарифная ставка;  $H_{обс}$  – норма обслуживания рабочего  $i$ -й квалификации на выполнения  $j$ -й операции.

Для стандартного варианта:

$$t_{ум} = 4 \text{ мин.}; m = 300; n = 25; t_{ум} = 50 \text{ руб.}; H_{обс} = 10$$

$$Z_{зпо}^{np} = 300 \cdot \frac{50}{60} \cdot 25 \cdot \frac{4}{10} = 2500 \text{ руб./шт.};$$

Для модернизированного варианта:

$$t_{ум} = 4 \text{ мин.}; m = 325; n = 25; t_{ум} = 50 \text{ руб.}; H_{обс} = 10$$

$$Z_{зпо}^{np} = 320 \cdot \frac{50}{60} \cdot 25 \cdot \frac{4}{10} = 2708,3 \text{ руб./шт.};$$

Премияльные доплаты:

$$\text{Для стандартного варианта } Z_{прем} = 2500 \cdot 0,3 = 750 \text{ руб./шт.};$$

$$\text{Для модернизированного варианта } Z_{прем} = 2708,3 \cdot 0,3 = 812,5 \text{ руб./шт.};$$

Дополнительная заработная плата:

$$\text{Для стандартного варианта } Z_{зпдон} = 3250 \cdot 0,1 = 325 \text{ руб./шт.};$$

$$\text{Для модернизированного варианта } Z_{зпдон} = 3520 \cdot 0,1 = 352 \text{ руб./шт.};$$

Отчисления во внебюджетные фонды:

$$\text{Для стандартного варианта } Z_{ЕСН} = 3575 \cdot 0,356 = 1273 \text{ руб./шт.};$$

$$\text{Для модернизированного варианта } Z_{ЕСН} = 3872 \cdot 0,356 = 1378,4 \text{ руб./шт.};$$

Амортизация:

$$\text{Для стандартного варианта } Z_a = 25850 \cdot 0,09 = 2326,5 \text{ тыс.руб.};$$

$$\text{Для модернизированного варианта } Z_a = 33000 \cdot 0,09 = 2970 \text{ тыс.руб.};$$

Цеховые и общезаводские расходы:

$$Z_{цех} = \frac{Z_{зпо}^{np} \cdot \alpha_{цех}}{100}, \quad (66)$$

										Лист
										59
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ					



$$Z_{зав} = \frac{Z_{зно}^{np} \cdot \alpha_{зав}}{100}, \quad (67)$$

где  $\alpha_{цех}$  и  $\alpha_{зав}$  – процент цеховых и процент общезаводских расходов по технической литературе принимаем  $\alpha_{цех} = 170\%$ ,  $\alpha_{зав} = 130\%$ .

Для стандартного варианта  $Z_{цех} = \frac{2500 \cdot 170}{100} = 4250$  руб.;

Для модернизированного варианта  $Z_{цех} = \frac{2708,3 \cdot 170}{100} = 4604,1$  руб.;

Для стандартного варианта  $Z_{зав} = \frac{2500 \cdot 130}{100} = 3250$  руб.;

Для модернизированного варианта  $Z_{зав} = \frac{2708,3 \cdot 130}{100} = 3520,8$  руб.;

Производственная себестоимость единицы продукции определяется как сумма затрат:

$$C_{np} = Z_m + Z_T + Z_{зно}^{np} + Z_{зно} + Z_{прем} + Z_{ЕСН} + Z_{об} + Z_{цех} + Z_{зав} \quad (68)$$

Для стандартного варианта:

$$C_{np} = 2200 + 166,06 + 2500 + 750 + 325 + 1273 + 2326,5 + 4250 + 3250 = \\ = 17154,7 \text{ руб/шт};$$

Для модернизированного варианта:

$$C_{np} = 3000 + 219,2 + 2708,3 + 812,5 + 352 + 1378,4 + 2970 + 4604,1 + 3520,8 = \\ = 19375,8 \text{ руб/шт}.$$

Годовой экономический эффект, ожидаемый от внедрения разработанного рулевого управления равен:

					23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		60

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{до}} &= ((17154,7 \cdot 10000 + 129957000 \cdot 0,15) \cdot 1,24 - (19375,8 \cdot 10000 + 201104000 \cdot 0,15)) = \\ &= 12\,966\,682 \text{ руб.} \end{aligned}$$

Период окупаемости усилителя определяется по формуле:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{п}} - K_{\text{с}} \cdot \beta}{C_{\text{с}} \cdot \beta \cdot A - C_{\text{п}} \cdot A}; \quad (69)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{201104000 - 129957000 \cdot 1,24}{17154,7 \cdot 1,24 \cdot 10000 - 19375,8 \cdot 10000} = 2,1$$

Таблица 8 – Расчет сравнения стандартного с модернизированным вариантом

Показатель	Стандартный вариант	Модернизированный вариант	Изменение в %
1. Вложения капитальные, тыс. руб.	129957	201104	+70
2. Себестоимость усилителя, руб.	17154,7	19375,8	+14,6
3. Годовые расходы на содержание и эксплуатацию усилителя, руб.:	4760	5255,6	+19,2
– амортизация	2453,1	2770,7	+19,3
– ремонт	1372,4	1550	+22
– затраты на ТО	934,9	934,9	0
4. Ресурс до капитального ремонта, км.	120000	140000	+18,1
5. Годовой экономический эффект на единицу продукции, руб.		1296,6	
6. Годовой выпуск, шт	10000	10000	
7. Экономический эффект на годовой выпуск, руб		12 966 682	
8. Срок службы, год	3	4	+25

Окончания таблицы 8

9. Масса рулевого управления кг	28	35,5	+32
10. Срок окупаемости проекта, год	2,1		

4.4 Расчет эксплуатационных расходов

Годовые эксплуатационные расходы определяются по формуле:

$$C = Z_a + Z_p + Z_{ТО}, \quad (70)$$

где  $Z_a$  – затраты на амортизацию, руб;  $Z_p$  – затраты на ремонт, руб;  
 $Z_{ТО}$  – затраты на техническое обслуживание, руб.

Годовые расходы на амортизацию по вариантам:

$$Z_a = C \cdot 0,143,$$

где  $C$  – цена варианта со старым рулевым управлением, руб (стандартный вариант 17154,7 руб., 19375,8 руб.);

0,143 – процент амортизационных отчислений;

$$Z_{аб} = 17154,7 \cdot 0,143 = 2453,1 \text{ руб};$$

$$Z_{ан} = 19375,8 \cdot 0,143 = 2770,7 \text{ руб}.$$

Годовые расходы на ремонт:

$$Z_p = C \cdot 0,08, \quad (71)$$

где 0,08 – процент годовых расходов на ремонт;

$$Z_{рб} = 17154,7 \cdot 0,08 = 1372,4 \text{ руб};$$

$$Z_{рн} = 19375,8 \cdot 0,08 = 1550 \text{ руб}.$$

Затраты на техническое обслуживание:

$$Z_{\text{ТО}} = Z_{\text{зп}} + Z_{\text{п}} + Z_{\text{дп}} + Z_{\text{сс}} + Z_{\text{нр}}, \quad (72)$$

где,  $Z_{\text{зп}}$  – основная заработная плата рабочих при проведении операции ТО, руб;  $Z_{\text{п}}$  – премия рабочих, руб;  $Z_{\text{дп}}$  – дополнительная заработная плата рабочих, руб;  $Z_{\text{сс}}$  – отчисления на социальное страхование, руб;  $Z_{\text{нр}}$  – затраты на накладные расходы, руб.

Основная з/п рабочих на операцию ТО определяется по формуле:

$$Z_{\text{зп}} = (P_{\text{сг}} / P_{\text{р}}) \cdot Z_{\text{о}}, \quad (73)$$

где  $P_{\text{сг}}$  – среднегодовой пробег автомобиля, км;  $P_{\text{р}}$  – пробег до очередного ТО, км;  $Z_{\text{о}} = 150$  руб – норма основной заработной платы на операцию ТО;  $Z_{\text{зп}} = (30000 / 30000) \cdot 150 = 150$  руб.

Премия рабочих определяется по формуле:

$$Z_{\text{п}} = 0,25 \cdot Z_{\text{зп}}, \quad (74)$$

где 0,25 – процент премии;

$$Z_{\text{п}} = 0,25 \cdot 150 = 37,5 \text{ руб.}$$

Дополнительная заработная плата рабочих определяется по формуле:

$$Z_{\text{дп}} = 0,1 \cdot (Z_{\text{зп}} + Z_{\text{п}}), \quad (75)$$

где 0,1 – процент дополнительной заработной платы;

$$Z_{\text{дп}} = 0,1 \cdot (150 + 37,5) = 18,75 \text{ руб.}$$

Отчисления на социальное страхование определяются по формуле:

$$Z_{\text{сс}} = 0,26 \cdot (Z_{\text{зп}} + Z_{\text{п}} + Z_{\text{дп}}), \quad (76)$$

где 0,26 – процент отчислений на социальное страхование;

									Лист
									63
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ				

$$Z_{cc}=0,26 \cdot (150+37,5+18,75)=53,625 \text{ руб.}$$

Накладные расходы определяются по формуле:

$$Z_{нр}=4,5 \cdot Z_{зп}, \quad (77)$$

где 4,5 – процент накладных расходов;

$$Z_{нр}=4,5 \cdot 150 = 675 \text{ руб.}$$

Затраты на техническое обслуживание:

$$Z_{то} = 150 + 37,5 + 18,75 + 53,625 + 675 = 934,9 \text{ руб.}$$

Текущие затраты по вариантам:

$$TZ_6 = 2453,1 + 1372 + 934,9 = 4760 \text{ руб.};$$

$$TZ_н = 2770,7 + 1550 + 934,9 = 5255,6 \text{ руб.}$$

Вывод по разделу 4: Разработанное рулевое управление предназначено для эксплуатации в автомобилях семейства УАЗ-3163. Годовой экономический эффект составляет 1296,6 рублей на единицу продукции. См. Заключение

										Лист
										64
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ					



- обученные пользоваться средствами индивидуальной защиты;
- обученные оказывать медицинскую помощь; прошедшие инструктажи по безопасности труда:

а) вводный инструктаж при поступлении на работу (проводит инженер по охране труда);

б) первичный на рабочем месте;

в) стажировку перед допуском к самостоятельной работе и проверку знаний;

г) повторный инструктаж 1 раз в квартал;

д) целевой и внеплановый - по необходимости.

В данном случае автослесарь обязан:

– соблюдать правила внутреннего трудового распорядка и немедленно извещать руководителя о неисправности оборудования, приспособлений, инструментов, а также об ухудшении состояния своего здоровья и признаках острого профессионального заболевания (отравления), аварий и т.д.

Выполнение работ может сопровождаться следующими опасными факторами:

– возможность получения механических травм от вращающихся частей оборудования и инструмента;

– электроопасность при наличии открытых токоведущих частей, нарушении изоляции, неисправности заземления.

В соответствии с типовыми отраслевыми нормами средствами защиты работнику выдается:

– костюм вискозно-лавсановый 1 на год

– ботинки хромовые 1 пара на год

– очки защитные до износа

Работник должен соблюдать меры пожарной безопасности, знать и уметь пользоваться средствами пожаротушения. Курить только в специально оборудованном месте. В случае загорания немедленно позвонить в пожарную

					23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		66





- своевременно и добросовестно проводить инструктажи и обучения по технике безопасности и безопасным приемам работ;
- своевременно проводить ремонт и обслуживания рулевого управления;
- следить за источниками опасных и вредных факторов, не допускать производственного травматизма;
- необходимо уделять большее внимание за соблюдением норм и правил эксплуатации автомобиля;
- инженеру по охране труда проверить технологию ремонта рулевого управления;
- установить таблички и оградить опасные зоны щитами при осуществлении ремонта рулевого управления;
- руководству, выделить денежные средства на каждого работающего дополнительно, на приобретение спец. одежды и недостающего инвентаря в мастерских (наборов инструментов, специальных приспособлений для ремонта автомобиля).

					<i>23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ</i>	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		68

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе был модернизирован усилитель рулевого управления автомобиля УАЗ-3163, за счет замены его на электрогидроусилитель. Данный ЭГУР представляет собой совокупность электроники и гидравлики. Для того, чтобы электромотор не работал постоянно введён гидроаккумулятор. Этим мы добились увеличения ресурса механизмов за счёт того, что масло в системе не течёт постоянно, давление в системе стало стабильнее, снизился расход топлива.

Рассмотрены конструкции нескольких представителей рулевых усилителей устанавливаемых на отечественные автомобили, их отличие. Для проектирования конструкции отвечающей необходимым условиям эксплуатации проанализированы требования к рулевым усилителям, так же рассмотрены требования к рулевому управлению в частности. Для модернизации рулевого усилителя произведены расчеты деталей усилителя и рулевого управления.

Представлены мероприятия по проведению ремонта и обслуживания рулевого усилителя, направленные на правильное проведение технологического обслуживания и установки электрогидроусилителя руля.

На основе анализа по охране труда были приведены мероприятия, обеспечивающие оптимальные процессы по технологии безопасного обслуживания и ремонта необходимого по электрогидроусилителю руля.

Произведены расчеты экономической целесообразности внедрения электрогидроусилителя руля. Для этого описаны необходимые материалы и детали, затем рассчитаны необходимые работы и оценена их стоимость.

В итоге срок окупаемости составил 2,1 года.

									Лист
									69
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ				



транспорта: учебное пособие / М.А. Масуев – М.: Академия, 2007. – 224 с.

15 Савицкая, Г.В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия: учебник для вузов / Г.В. Савицкая – Мн.: Экоперспектива, 2002. – 230 с.

16 Туревский, И.С. Техническое обслуживание автомобилей: учебное пособие / И.С. Туревский – М.: Форум; ИНФРА-М, 2005. – 304 с.

17 Туревский, И.С. Техническое обслуживание и ремонт автомобильного транспорта: учебное пособие / И.С. Туревский – М.: Форум; ИНФРА-М, 2011. – 192 с.

18 Хасанов, Р.Х. Основы технической эксплуатации автомобилей: учебное пособие / Р.Х. Хасанов – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2003. – 193 с.

19 ГОСТ 31191.1-2004 Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования.

20 ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда.

21 ГОСТ. 12.1.029-80 Средства и методы защиты от шума.

22 СТО ЮУрГУ 04-2008. Стандарт организации. Курсовое и дипломное проектирование. Общие требования к содержанию и оформлению.

23 ГОСТ Р 52302–2004. Автотранспортные средства. Устойчивость и управляемость. Технические требования. Методы испытания. – М. : Изд-во стандартов, 2005.

										Лист
										71
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата	23.03.02.2020.026.00.00 ПЗ					

ПРИЛОЖЕНИЯ  
ПРИЛОЖЕНИЕ А

Спецификация чертежа «Гидроусилитель рулевого управления»

Формат	Этап	№ п/п	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<u>Документация</u>		
A1			23.03.02.2020.026.01.00.000 СБ	Сборочный чертеж		
				<u>Сборочные единицы</u>		
		1	23.03.02.2020.026.01.00.001	Датчик давления	1	
A1		2	23.03.02.2020.026.01.00.002	Гидрораспределитель с рейкой-поршнем	1	
				<u>Детали</u>		
A1		3	23.03.02.2020.026.01.00.003	Корпус золотника	1	
		4	23.03.02.2020.026.01.00.004	Кольцо резиновое	2	
		5	23.03.02.2020.026.01.00.005	Картер РМ	1	
		6	23.03.02.2020.026.01.00.006	Вал сошки	1	
		7	23.03.02.2020.026.01.00.007	Кожух защитный	1	
		8	23.03.02.2020.026.01.00.008	Кожух защитный	1	
		9	23.03.02.2020.026.01.00.009	Пробка	1	
		10	23.03.02.2020.026.01.00.010	Заглушка	1	
		11	23.03.02.2020.026.01.00.011	Шайба	1	
		12	23.03.02.2020.026.01.00.012	Кольцо стопарное	1	
		13	23.03.02.2020.026.01.00.013	Стакан подшипника	2	
			<b>23.03.02.2020.026.01.00.00</b>			
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		
Разработ		Агзямов Р.Т.			Лист	Листов
Проб		Разношинская АВ.			1	2
Н. контро		Дююн В.И.			ЮУрГУ	
Утв.		Бондарь В.Н.			Кафедра "КГМ"	
					<b>Гидроусилитель рулевого управления</b>	



**ПРИЛОЖЕНИЕ Б**  
**Спецификация чертежа «Гидрораспределитель с рейкой-поршнем»**

Формат	Зона	Поз.	Обозначение	Наименование	Кол.	Примечание
				<i>Документация</i>		
A1			23.03.02.2020.026.01.01.000 СБ	Сборочный чертеж		
				<i>Детали</i>		
		1	23.03.02.2020.01.01.001	Гильза распределителя	1	
A1		2	23.03.02.2020.01.01.002	Распределитель	1	
		3	23.03.02.2020.01.01.003	Накладка	2	
		4	23.03.02.2020.01.01.004	Картер РМ	1	
		5	23.03.02.2020.01.01.005	Болт	1	
		6	23.03.02.2020.01.01.006	Винт	1	
		7	23.03.02.2020.01.01.007	Штифт	1	
A1		8	23.03.02.2020.01.01.008	Рейка-поршень	1	
		9	23.03.02.2020.01.01.009	Штифт	1	
		10	23.03.02.2020.01.01.010	Штифт	1	
		11	23.03.02.2020.01.01.011	Ротор	1	
		12	23.03.02.2020.01.01.012	Торсион	1	
		13	23.03.02.2020.01.01.013	Ролик шариковый	1	
			<b>23.03.02.2020.026.01.01.00</b>			
Изм.	Лист	№ документа	Подпись	Дата		
Разраб		Азьямов Р.Т.			Лист	Листов
Проб		Разношанская А.В.			1	2
И.контр		Дююн В.И.			ЮУрГУ	
Утв		Бандарь В.Н.			Кафедра "КГМ"	

