

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П.О.Сухого»

Кафедра «Гидропневмоавтоматика»

Г.С.Кульгейко

КОНСТРУИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ СИСТЕМ СМАЗКИ

Практикум по одноименному курсу для студентов специальностей 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» дневной и заочной форм обучения

Гомель 2016

УДК 681.89
ББК 34.449.6
К90

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом машиностроительного факультета ГГТУ им. П.О.Сухого (протокол № 6 от 09.09.2016г.)

Рецензент: доцент кафедры «Технология машиностроения» ГГТУ им. П.О.Сухого канд. техн. наук, доц. Э.И.Дмитриченко

Кульгейко Г.С.

К90 Конструирование и расчет систем смазки : практикум по одноим. курсу для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» днев. и заоч. форм обучения / Г. С. Кульгейко. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2016. – 49

Предназначен для методического обеспечения учебного процесса по дисциплине «Конструирование и расчет систем смазки». Включает шесть разделов с теоретическим материалом, практическими рекомендациями. Приведены примеры выполнения расчетов и контрольных заданий, даны контрольные вопросы.

Для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» дневной и заочной форм обучения

УДК 681.89
ББК 34.449.6

© Учреждение образования
«Гомельский государственный технический
Университет имени П.О.Сухого», 2016

Кульгейко Галина Степановна

К90 Конструирование и расчет систем смазки : практикум по
одноим. курсу для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропнев-
мосистемы мобильных и технологических машин» днев. и заоч. форм обуче-
ния

Подписано
Рег. №42Е

Содержание

	Стр.
Введение	
1 Основы расчета систем жидкой смазки	5
1.2 Расчет количества смазочного материала	5
2 Расчёт и проектирование дроссельных смазочных систем	8
2.1 Смазочная система дроссельного дозирования	8
2.2 Определение типоразмеров и характеристик распределительной аппаратуры	9
2.2.1 Определение расхода и диаметров трубопроводов	10
2.2.2. Расчет потерь давления в трубопроводах	11
2.2.3 Определение перепадов давления на дросселирующих элементах распределителей всех точек при соответствующих расходах	13
2.2.4 Определение характеристик дозирующих элементов	13
3 Расчёт и проектирование последовательных смазочных систем	14
3.1 Система последовательного действия	14
3.2 Особенности проектирования последовательных смазочных систем	18
3.3 Пример выбора последовательных смазочных питателей	19
4 Расчёт импульсных систем смазок	23
4.1 Импульсная смазочная система	23
4.2 Импульсные питатели	25
4.3 Определение типоразмеров и характеристик распределительной аппаратуры импульсных и двухмагистральных смазочных систем	26
5 Выбор вида привода и системы управления и контроля, определение характеристик нагнетателей	27
5.1 Виды приводов смазочных систем	27
5.2 Выбор системы управления и контроля	29
6 Контрольные задания	31
6.1 Разработать смазочную систему дроссельного дозирования	31
6.2 Разработать смазочную систему последовательного действия	41
6.3 Разработать смазочную систему и монтажную схему для смазывания узлов машины	48
Контрольные вопросы	51
Список используемой литературы	52

Введение

Пособие написано для студентов, обучающихся по специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин», в соответствии с программой курса «Конструирование и расчет систем смазки» и стандартом образования. Базируется пособие на материале предшествующих дисциплин: «Объемные гидро- и пневмомашин», «Механика жидкости и газа», «Рабочие жидкости, смазки и уплотнения». «Элементы управления и регулирования» и др.

Навыки, полученные в процессе изучения данного пособия могут быть применены в дальнейшем при проектировании автоматических смазочных систем (СС) для узлов и машин, применяемых в различных областях народного хозяйства, в дипломном проектировании.

Целью разработки пособия является закрепление студентами теоретических знаний, полученных при изучении данной дисциплины, ознакомление с общими методиками расчета и проектирования автоматических СС, проектирование оригинальных и выбор стандартных нагнетателей, дозирующих устройств, контрольной и др. аппаратуры.

Для получения прочных знаний сначала необходимо изучить материал в теоретической части каждого раздела. Параллельно с изучением теоретического материала, выполняется контрольное задание – выбор типа СС, расчет и проектирование СС для заданной машины. Выбор смазочных материалов, аппаратов и других устройств производится из справочной литературы, перечень которой приведен в данном пособии.

Текст пособия разбит на разделы в соответствии с теоретическим курсом данной дисциплины и предусматривает как решение задач во время практических работ, так и самостоятельные работы студентов.

1 Основы расчета систем жидкой смазки

К основным параметрам расчета систем жидкой смазки относятся:

1. Определение теоретической подачи насоса. Действительная подача насоса зависит от вязкости и температуры перекачиваемого масла, утечки его в насосе и в системе и т. п.

3. Мощность, потребляемая насосом.

5. Давление насоса p_n , принимают с учетом всех потерь, как в самом насосе, так и в маслопроводах.

6. Отстойники выбирают в зависимости от подачи станции, исходя из условия, что запас масла в отстойнике должен быть равен не менее чем 20-кратной подаче станции. Основные геометрические размеры горизонтальных отстойников определяют расчетом по формулам.

7. Время нагрева масла.

8. Часовой расход.

9. Количество масла, подаваемого смазочной станцией в единицу времени, т. е. подачу циркуляционной смазочной системы, определяют исходя из условия, что смазочный поток в состоянии отнять излишек теплоты, выделяющейся в узлах трения (подшипниках, зубчатых зацеплениях и др.).

11. Расчет фильтров. В зависимости от места установки фильтра (до или после насоса) находят допускаемый перепад давления. На линии всасывания фильтр должен пропускать требуемый объем масла при перепаде давления 0,01 МПа, а на линии нагнетания – от 0,02 до 0,20 МПа.

12. Расчет поверхности теплообменника.

13. Расчет маслоподогревателя.

14. Расчет емкости пресс-бака.

1.2 Расчет количества смазочного материала

Чтобы правильно подобрать систему смазки, необходимо знать сколько масла или пластичной смазки нужно доставить в точку смазки. Существует большой выбор доз подачи смазки, поэтому необходимо выбрать оптимальную подачу, которая будет полностью обеспечивать нужный объем в точке смазки. Объем смазки может быть вычислен умножением площади смазываемой поверхности на реко-

мендующую толщину плёнки смазки из условия обновления смазки один раз в час.

Рекомендуются следующие толщины плёнки смазки.

Автоматические или ручные системы смазки:

-для масла толщина плёнки – 0,0004см, плёнка обновляется каждый час;

-для пластичной смазки толщина плёнки 0,0001 см.

Примечание. Толщину плёнки следует увеличить при наличии следующих факторов: ударных нагрузок, перегрева, высокой скорости подвижных частей, наличия грязи, воды, продуктов износа. Частая смазка малыми порциями показала лучший результат в продлении эксплуатации изделия.

Вычислив площадь для каждой точки ввода смазки в соответствии с формулами, приведенными ниже, и умножив её на толщину плёнки, указанную выше, мы, таким образом, получим объём смазки, выраженный в см³, который должен доставляться в точку ввода смазки один раз в час. На основе этих данных можно выбрать оптимальные значения расходов через дозирующие питатели, исходя из частоты их срабатывания.

Площади поверхностей семи основных типов смазки рассчитываются по следующим формулам:

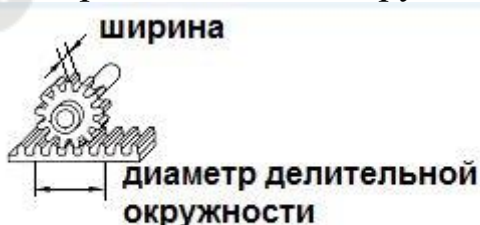
Подшипник скольжения

Площадь = (длина скольжения) x 3,14 x (диаметр вала)
ширина подшипника
скольжения



Зубчатая передача

Площадь = 17,5 x (диаметр делительной окружности) x (ширина)



Цепь

Площадь = 3 x D x W + 0,1 x L + W

D – диаметр

W – ширина цепи

L – длина цепи



Шарикоподшипник

Площадь = (диаметр вала)² x (число рядов)



Опора скольжения

Площадь = (длина) x (ширина)



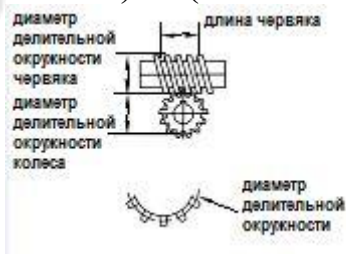
Большое зубчатое колесо

Площадь = 10 x (диаметр делительной окружности) x (ширина)



Червячная передача

Площадь = (диаметр делительной окружности червяка + диаметр делительной окружности колеса) x (длина червяка)



В соответствии с конструкцией узлов смазки необходимо выбрать подходящую формулу из представленных выше для своего случая. Вычислить площадь поверхности (в см²) для каждой точки смазки (округлять в сторону ближайшего целого числа)

2 Расчёт и проектирование дроссельной смазочной системы

2.1 Смазочная система дроссельного дозирования

Смазочная система дроссельного дозирования это такая система в которой количество смазочного материала, подаваемого к поверхности трения, зависит от степени дросселирования его потока. При этом количество смазочного материала поступающего от нагнетателя регулируется изменением гидравлического сопротивления напорных смазочных линий путем установки линейных сопротивлений (дросселей) или подбором сечений и длины трубопроводов. Системы дроссельного дозирования применяют в основном для жидких смазочных материалов. Обязательным элементом системы является смазочный нагнетатель и масляные распределительные устройства дроссельного дозирования (рис.1).

Нагнетатель обычно конструктивно выполнен в виде смазочной станции, которая содержит бак 1, насос 3, предохранительный клапан 16, а также фильтры: напорный 4, приёмный 2, сливной 15, заливной 14. Кроме этого система оборудована манометром 5 и реле уровня 13.

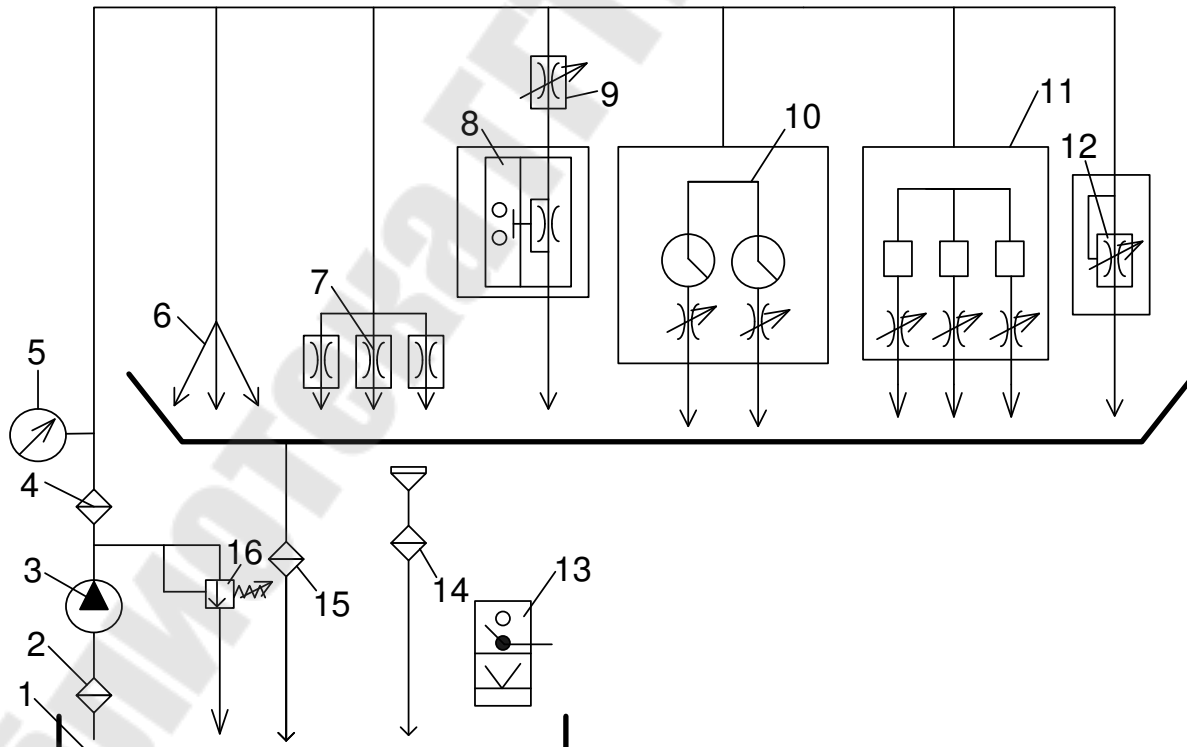


Рис.1 Схема смазочной системы дроссельного дозирования

1 – бак	9 – регулируемый дроссель
2 – приемный фильтр	10 – смазочный дроссельный блок
3 – насос	11 – ротаметры
4 – напорный фильтр	12 – регулятор подачи
5 – манометр	13 – реле уровня
6 – смазочные линии	14 – заливной фильтр
7 – нерегулируемый дроссель	15 – сливной фильтр
8 – реле расхода	16 – предохранительный клапан

2.2 Определение типоразмеров и характеристик распределительной аппаратуры

В дроссельном распределителе расход смазочного материала из отвода зависит от соотношения гидравлических сопротивлений всех линий, подключенных к источнику питания (включая гидравлические сопротивления узлов трения). В связи с этим для определения гидравлической характеристики распределителя, обеспечивающей в данной конкретной системе заданный расход, необходим подробный гидравлический расчет системы. Такой расчет следует проводить и в случаях применения регулируемых распределителей, так как настройка последних непосредственно на системе затруднена ввиду взаимного влияния расходов всех распределителей системы.

Порядок расчета рассмотрим на примере смазочной системы, изображенной на рис. 2. Система состоит из насоса с предохранительным клапаном, трубопровода с участками $a - p$ и дроссельных распределителей III – VI. Концевые участки трубопровода $u - p$ подведены к ТВС 1 – 8, причем в ТВС 3 и 5 осуществлен герметичный подвод к зазорам пар трения VII и VIII с существенным гидравлическим сопротивлением, а в остальных точках смазка осуществляется поливом и концевые отводы открыты в атмосферу. Система должна обеспечивать заданные расходы в точки смазки (соответственно $Q_1 - Q_2$).

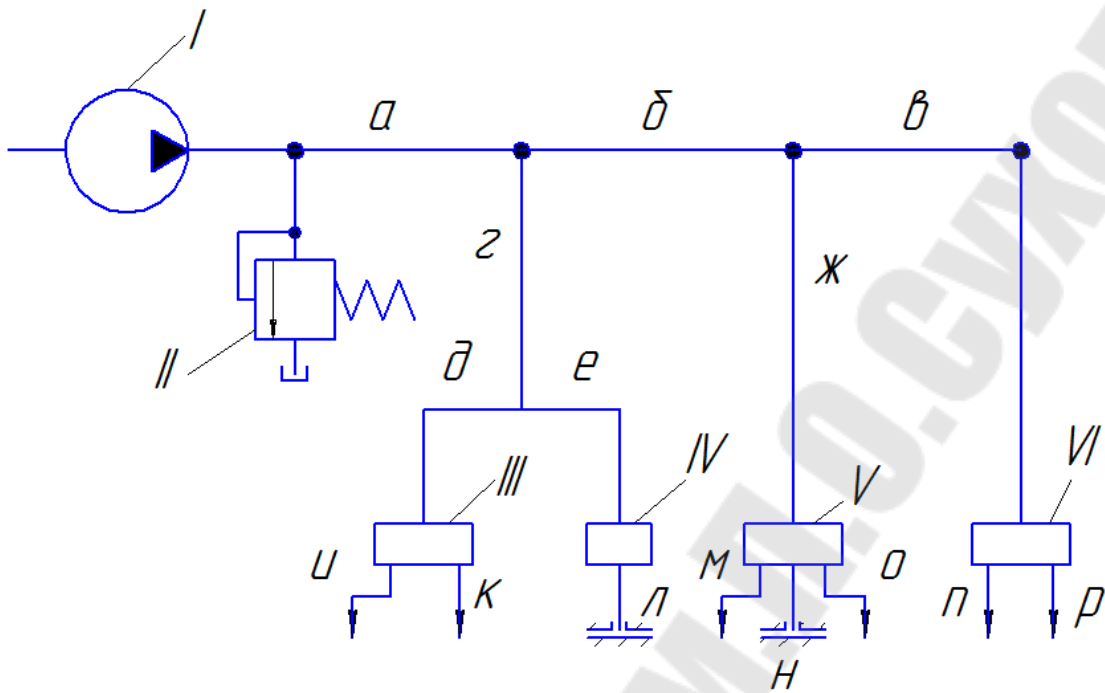


Рис. 2 Схема к гидравлическому расчету дроссельной смазочной системы

2.2.1 Определение расхода и диаметров трубопроводов

Суммируя разветвляющиеся потоки, находим расходы на участках трубопровода:

$$Q_в = Q_7 + Q_8$$

$$Q_ж = Q_4 + Q_5 + Q_6$$

$$Q_б = Q_в + Q_ж$$

$$Q_д = Q_1 + Q_2$$

$$Q_г = Q_д + Q_у$$

$$Q_а = Q_б + Q_г$$

Задаемся диаметрами трубопроводов на всех участках, так чтобы скорость масла в них $v = \frac{4Q}{\pi d^2}$ не превышала 3 м/с.

2.2.2. Расчет потерь давления в трубопроводах

Потери давления в трубопроводах смазочных систем определяют избыточное давление смазочного материала, необходимое для работы системы. Они учитываются при проектировании смазочных систем всех типов для выбора нагнетательных устройств (насосов) по

параметру $p_{\text{ном}}$ (номинальное давление) и в системах дроссельного дозирования при расчетах распределительных устройств.

Для расчета потерь давления в трубопроводах смазочных систем, работающих на жидких смазочных материалах, пригодны формулы и методы расчета трубопровода гидросистем, изложенные в справочной и учебной литературе по машиностроительной гидравлике.

При установившемся движении жидкого смазочного материала потери давления в трубопроводе Δp складываются из суммы потерь давления на трение по длине участков трубопровода $\sum \Delta p_{\text{тр}}$ и суммы потерь давления на местных сопротивлениях $\sum \Delta p_{\text{мс}}$

$$\Delta p = \sum p_{\text{ТР}} + \sum p_{\text{МС}}$$

Потери на трение в участке трубопровода при ламинарном режиме течения определяются по формуле

$$\Delta p_{\text{ТР}} = \frac{128lv\gamma Q}{\pi g d^4},$$

где l – длина трубы, м;

v – кинематическая вязкость, $\text{м}^2/\text{с}$;

γ – удельный вес, $\text{Н}/\text{м}^3$;

Q – расход, $\text{м}^3/\text{с}$;

g – ускорение свободного падения, $\text{м}/\text{с}^2$;

d – внутренний диаметр трубы, м.

На практике часто пользуются коэффициентом сопротивления и определяют Δp по формуле

$$\Delta p = 0,81 \cdot 10^2 \lambda l \gamma \frac{Q^2}{d^5}, \quad (2.1)$$

Здесь величину λ при расчете смазочных систем следует принимать равной:

- для металлических труб систем непрерывной подачи (систем дроссельного дозирования и циркуляционных последовательных) $64/Re$;

- для металлических труб систем периодической подачи $75/Re$;

- для участков изогнутых металлических труб при угле загиба, меньшем 90° , и отношении радиуса загиба к внешнему диаметру трубы, меньшем четырех, $80/Re$;

- для прямолинейных участков резиновых шлангов со стандартной арматурой $75/Re - 85/Re$.

При турбулентном режиме течения смазочного материала потери в трубах можно также рассчитывать по формуле (1), подставляя значение λ , вычисленное по формуле $\lambda = 0,32 Re^{-6,25} \approx (0,03 - 0,05)$.

Режим течения определяется сравнением значения Re , вычисленного для данного участка трубопровода, с величиной критического его значения $Re_{крит}$, равной, ориентировочно, для круглых гладких труб 2100 – 2300, для резиновых рукавов – 1600. При $Re < Re_{крит}$ – режим ламинарный, при $Re > Re_{крит}$ режим турбулентный (встречается только в концевых трубопроводах циркуляционных последовательных систем).

Потери давления на местных сопротивлениях определяют по формуле

$$\Delta p_{МС} = \zeta \frac{\vartheta^2 \gamma}{2g},$$

где ζ – коэффициент местного сопротивления;
 ϑ – скорость потока через сопротивление, м/с.

Значения ζ для местных сопротивлений, встречающихся в смазочных системах, не превышают 5,5, а $\Delta p_{МС}$ обычно меньше 0,03 МПа.

В связи с этим при расчете потерь в трубопроводах смазочных систем высокого давления потерями на местных сопротивлениях можно пренебречь. При необходимости, имея конкретные характеристики местного сопротивления, величину $\Delta p_{МС}$ можно найти в справочной литературе по гидравлическим системам.

Определяем потери давления на всех участках трубопровода (рис.2) при соответствующем Q , включая потери на местных сопротивлениях, вызываемые деталями соединений и арматурой (потери давления на тройниках условно отнесены к участку, присоединенному к входу в тройник).

Определяем Δp_{VII} и Δp_{VIII} потери давления в узлах трения VII и VIII используя методику изложенную выше.

Суммируем потери давления на всех участках системы, относящихся к каждой из точек:

$$\sum_1 \Delta p = \Delta p_a + \Delta p_r + \Delta p_d + \Delta p_{и};$$

$$\sum_2 \Delta p = \Delta p_a + \Delta p_r + \Delta p_r + \Delta p_{к};$$

$$\sum_3 \Delta p = \Delta p_a + \Delta p_r + \Delta p_e + \Delta p_{л} + \Delta p_{VII}$$

и т. д. и находим точку с максимальной величиной $\sum \Delta p$.

Принимаем давление после насоса p_0 таким, чтобы оно в 3 – 4 раза превышало максимальную величину $\sum \Delta p$, т.е. ($p_0 > (3 - 4) \sum \Delta p$). Такое превышение желательно для уменьшения влияния возможных отклонений фактических величин $\sum \Delta p$ от расчетных из-за погрешностей расчета и изготовления трубопроводов.

2.2.3 Определение перепадов давления на дросселирующих элементах распределителей всех точек при соответствующих расходах

Пренебрегая потерями давления в каналах дроссельных блоков, находим перепады давления на дросселирующих элементах распределителей всех точек при соответствующих расходах:

для ТВС 1 $\Delta p_1 = p_0 - \sum_1 \Delta p$ при расходе Q_1 ;

для ТВС 2 $\Delta p_2 = p_0 - \sum_2 \Delta p$ при расходе Q_2 ;

для ТВС 3 $\Delta p_3 = p_0 - \sum_3 \Delta p$ при расходе Q_3 и т. д.

2.2.4 Определение характеристик дозирующих элементов

По найденным величинам Δp определяем по формулам $Q = \mu f \sqrt{2g\Delta p / \gamma}$ или $\Delta p = \sum p_{TP} + \sum \Delta p_{M.C.}$ геометрические характеристики дозирующих элементов распределителей или подбираем серийные дроссельные распределители.

Для ТВС с расходами менее 2 см³/с необходимо проверить, обеспечивается ли дросселем принятого типа стабильность потока.

Если в системе предусмотрены регулируемые дроссельные распределители, они до монтажа на систему должны быть настроены на стенде на заданный расход при найденном перепаде Δp .

В технической характеристике серийных регулируемых дроссельных распределителей обычно указывают величину минимального стабильного потока Q_{0min} при определенном перепаде давления Δp_0 и определенной вязкости смазочного материала. Для других условий работы эту величину можно ориентировочно определить по формуле

$$Q_{min} \approx k Q_{0min}$$

Величина k для диафрагменных дросселей принимается равной $(\Delta p / \Delta p_0)^{0.5}$ для дросселей с длинными каналами $\Delta p_{v0} / \Delta p_{0v}$, где Δp –

перепад давления на дросселе при работе системы; ν – вязкость смазочного материала системы. Для дросселей других типов величина имеет промежуточные значения.

3 Расчёт и проектирование последовательных систем смазок

3.1 Система последовательного действия

Система последовательного действия – смазочная система, в которой дозирование осуществляется питателями с одним подводом, обеспечивающими, за счёт изменения объёма рабочих камер, поочерёдную подачу смазочного материала в каждый отвод, в строго определённой последовательности. Насос обеспечивает смазкой один или несколько питателей. Питатели – это устройства подачи точно дозированного объёма смазки к каждой точке. Типичная система представлена на рисунке 6.

В системе периодической подачи (рис. 3) прибор управления 17 через заданные промежутки времени включает в работу нагнетатель 1 и начинает отсчет продолжительности смазочного цикла. Обычно нагнетатель выполняется в виде станции с баком 3, реле уровня 4, предохранительным устройством 5, фильтром 2 и манометром 6. от нагнетателя смазочный материал поступает к центральному питателю 8 и далее – к вторичным питателям 13, 16, от которых может поступать к питателям третьего каскада 15 и т. д. От отводов питателей любого каскада смазочный материал может поступать к точкам подвода. При этом благодаря принципу действия питателей и их взаимосвязи поступление смазочного материала в точки осуществляется последовательно, т.е. повторное поступление смазочного материала в любую точку возможно только после завершения подачи его ко всем остальным точкам. После завершения смазочного цикла, т. е. заданного количества циклов питателя, в прибор управления поступает сигнал от датчика циклов 7, представляющего собой шток-индикатор, связанный с одним из золотников одного из питателей системы, обычно центрального, и воздействующего на микропереключатель. Прибор управления после получения сигнала отключает нагнетатель и начинает отсчитывать время паузы до следующего включения.

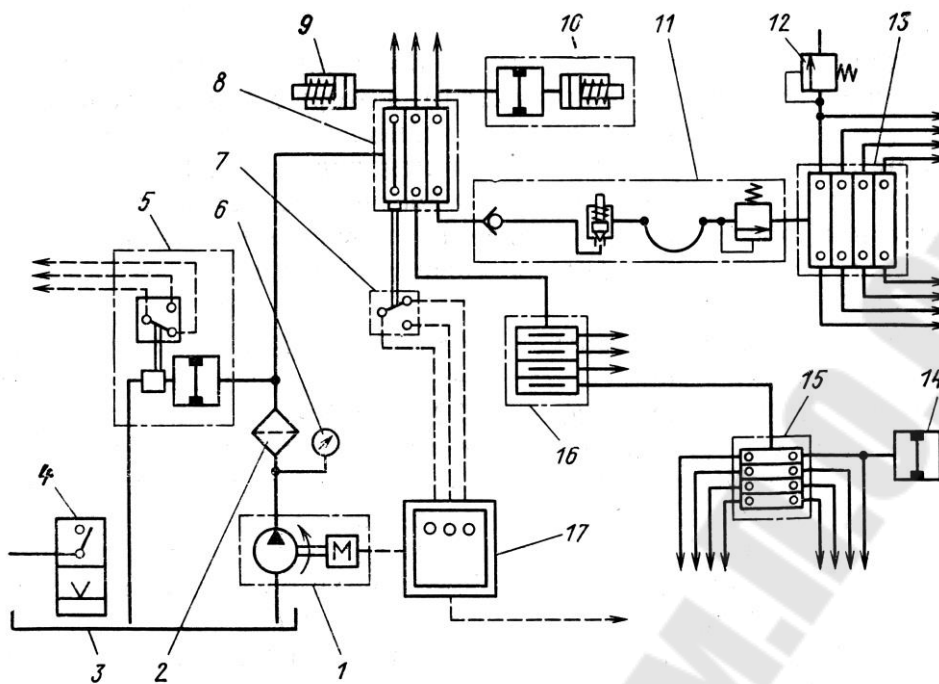


Рис. 3 Схема последовательной смазочной системы периодической подачи

Если в течение контрольного времени, на которое настроен прибор управления, сигнал от датчика циклов не поступает, что свидетельствует о неисправности в системе, то загорается световой сигнал, нагнетатель отключается и при необходимости блокируется обслуживаемое оборудование. Наиболее характерной неисправностью является закупорка какой-либо смазочной линии или заклинивание золотника питателя из-за попадания крупнодисперсных частиц. В этом случае, благодаря принципу работы системы, останавливаются (блокируются) золотники всех питателей и прекращается подача смазочного материала во все точки. Так, один датчик циклов контролирует работу всей системы в целом, т. е. система обладает централизованным контролем, что делает ее особенно полезной для уникального и дорогостоящего оборудования с множеством смазываемых точек.

Место неисправности в системе можно обнаружить с помощью индикаторов блокирования, устанавливаемых на отводах питателей. Эти индикаторы могут указывать наличие избыточного давления либо выдвиганием штока-индикатора, либо выводом смазочного материала наружу. Индикаторы с выдвигным штоком 9, 10 используются в случаях, когда по условиям работы требуется немедленно устранить причину блокировки системы. Индикаторы 12, 14 с выводом смазочного материала наружу используются, когда по условиям работы сма-

зываемого оборудования желательно, чтобы система продолжала работать при блокировке одного или нескольких отводов. В обоих случаях может включаться центральный предупредительный сигнал о наличии избыточного давления (блокировке) в системе.

Неисправность в системе может возникнуть при разрыве трубопроводов. Такая неисправность контролируется установкой индикатора разрыва линии 11, который состоит из обратного клапана, указателя разрыва линии и поддерживающего клапана. При нормальном давлении в контролируемом трубопроводе шток указателя разрыва линии находится в выдвинутом положении. При понижении давления смазочного материала в контролируемом трубопроводе из-за его повреждения шток указателя разрыва опускается, и клапан закрывает проход масла из указателя в трубопровод. В результате этого при очередном цикле работы питателя давление перед указателем резко повышается, что фиксируется центральным контролирующим органом системы.

В циркуляционных системах смазочная станция работает практически непрерывно, подавая смазочный материал через фильтр тонкой очистки к питателям и точкам подвода. После этого смазочный материал собирается и сливается в бак станции через сливной фильтр. Рассмотрим пример для системы с 4-мя зонами смазки и питателями с 2-мя каскадами.

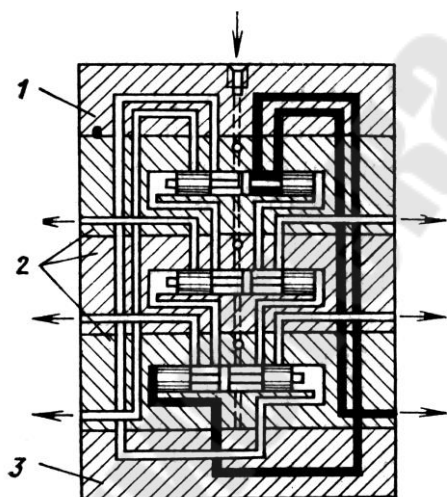


Рис.4 Схема работы последовательного питателя

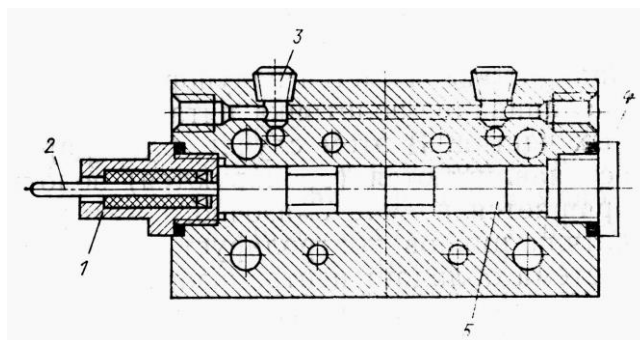


Рис.5 Промежуточная секция со штоком-индикатором последовательного питателя М

Питатель (рис. 4) состоит из набора секций – входной 1, выходной 3 и пакета промежуточных секций 2, уплотненных по стыкам прокладками или уплотнительными кольцами и стянутых шпильками. Число промежуточных секций в одном питателе 3 – 10.

В каждой промежуточной секции находится трехпоясковый золотник 5 (рис. 5), имеющий свободный ход до упора в пробку 4 и совершающий возвратно-поступательное движение. До тех пор пока смазочный материал поступает во входное отверстие и дальше по центральному и соединительным каналам золотники перемещаются в определенной последовательности и вытесняют определенные дозы смазочного материала из концевых полостей промежуточных секций в смазываемую точку. Питатель может начинать работу независимо от положения золотников. В любом случае смазочный материал из центрального канала поступает в одну или другую концевую полость каждой секции, но, в то же время, может сработать только один золотник, так как давление через центральный канал запирает остальные золотники.

Каждая промежуточная секция имеет два отвода. Получить один отвод в золотниковой секции можно путем соединения двух отводов сквозным каналом, обозначенным штриховыми линиями (см. рис. 5). При этом один из отводов должен быть обязательно заглушен. Питатель осуществляет один цикл, когда все золотники совершат по одному возвратно-поступательному движению, т. е. по два рабочих хода. Секция с одним отводом (со сквозным каналом) за цикл выдает двойную дозу смазочного материала.

В комплект питателя может входить узел 1 (см. рис. 5) со штоком-индикатором 2, фиксирующим завершение цикла питателем. Наличие штока-индикатора позволяет контролировать работу визуально и помощью электросигнальных приборов. Шток-индикатор устанавливают на любой из промежуточных секций по необходимости.

В питателе могут быть применены любые промежуточные секции (в пределах каждого типа).

Взамен установленных пробок 3 (см. рис. 5) может быть подсоединен отвод контролирующей аппаратуры или изменено положение присоединительного трубопровода. При этом в свободное отверстие данного отвода устанавливается снятая пробка.

3.2 Особенности проектирования последовательных смазочных систем

При проектировании одномагистральных последовательных смазочных систем необходимо учитывать следующие особенности:

- число отводов от каждой секции равно двум, но их можно объединить и тогда за полный цикл блока присоединенная к отводу точка получает смазочный материал дважды;

- конструкцией секций предусмотрена возможность объединения отводов двух соседних секций с помощью отверстий в их корпусах. Такое исполнение блока питателей должно быть согласовано при заказе система;

- работа питателя осуществляется цикл за циклом во время, пока смазочный материал подается под давлением к его входному отверстию;

- к любому или каждому, из отводов блока может быть присоединен вторичный блок;

- ни один из отводов блока не может быть заглушен, так как это прекращает работу системы;

- контроль за работой одной из секций блока равносителен контролю за работой всего блока;

- питатели можно применять для проточных и циркуляционных систем смазки;

- насосы можно использовать с различным видом привода.

При проектировании одномагистральных смазочных систем исходными данными являются:

- число отводов и заданные подачи в них смазочного материала;

- вид смазочного материала;

- давление, под которым смазочный материал подводится к смазочной точке.

Количество смазочного материала, подаваемого к каждому отводу за цикл питателя, определяется типоразмером секции и диаметром золотника секции, обслуживающей отвод. Объединяя отводы секций, можно изменять количество смазочного материала, поступающего в отвод, пропорционально количеству объединенных отводов питателя.

Каждая секция питателя имеет маркировку, характеризующую подачу за цикл, вид смазочного материала и количество отводов.

При выборе типоразмера питателя для проектируемой смазочной системы определяется минимальная заданная подача смазочного материала в отвод к точке смазки, входящей в группу точек, обслуживаемых одним питателем, и по ней выбирается целая секция питателя. Остальные секции выбираются по отношению заданной подачи смазочного материала к остальным точкам смазки к подаче базовой секции. Если это количество некратно подаче смазочного материала базовой секцией, то выбирают секцию, подача которой имеет ближайшее большее значение.

Для расчета первичного питателя определяют суммарные подачи смазочного материала вторичными питателями за цикл. При минимальной подаче смазочного материала в отвод первичного питателя выбирается его базовая секция.

3.3 Пример выбора последовательных смазочных питателей

В табл.1 приведен пример выбора типоразмера секций питателей для системы, схема которой представлена на рис. 6, при заданной подаче смазочного материала в отводы.

При выборе типоразмера питателей одномагистральной последовательной смазочной системы следует иметь в виду, что одни и те же подачи смазочного материала за цикл можно осуществить различными типоразмерами питателей за счет подбора соответствующих секций. Поэтому при проектировании смазочной системы варианта решений должны быть проанализированы с точки зрения унификации элементов смазочной системы, выбора системы с минимальными габаритными размерами и оптимальными режимами работы.

В табл. 1 для первичного питателя 7 даны два варианта секций питателей, которые могут обеспечить заданные подачи смазочного материала в отводы. Питатели секций типоразмера М подают меньшие дозы за цикл, чем питатели типоразмера МХ поэтому их частота срабатывания должна быть вдвое большей, однако выбор типоразмера М позволяет унифицировать блоки питателей системы. Питатели типоразмера М имеют меньшие габаритные размеры, чем МХ. Это также может послужить причиной выбора питателей типоразмера М.

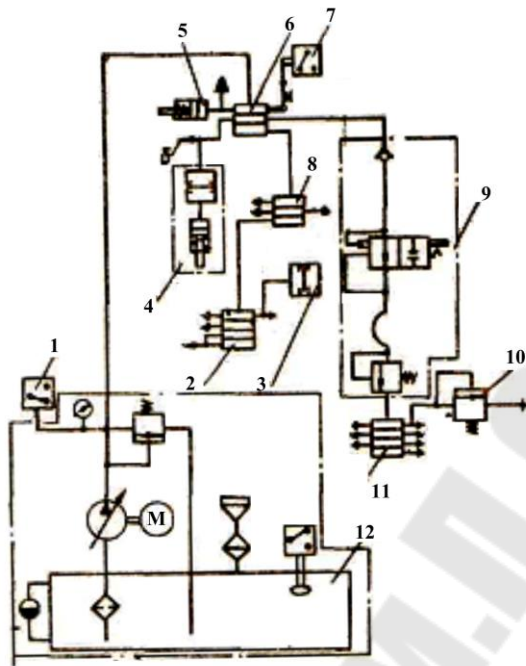


Рис. 6 Схема одномагистральной последовательной смазочной системы

Подача смазочного материала насосом определяется по формуле

$$Q = \sum_1^{i_{om}} q_{iom} n_{ц} , \text{ см}^3/\text{мин}$$

где q_{iom} – подача в отвод первичного питателя, см^3 ;

i_{om} – число отводов первичного питателя;

$n_{ц}$ – число циклов первичного питателя в минуту.

По подаче смазочного материала насосом выбирается размер смазочного трубопровода. Скорость жидкого смазочного материала в трубопроводах не должна превышать 4 м/с .

При проектировании трубопровода следует допускать минимально возможное количество его изгибов. Радиус изгиба должен быть не менее $2d_n$ (d_n – наружный диаметр трубопровода).

Давление насоса, осуществляющего подачу смазочного материала к питателям, определяется как наибольшее давление в точке смазки, увеличенное на перепад давления в трубопроводах и питателях, необходимый для преодоления их гидравлических сопротивлений.

Таблица 1

№ позиции рис. 6	Точка смазки	Подача смазочного материала пита- телем в отвод за цикл, см ³		Типоразмер секции
		заданная	выбранная	
	<i>a</i>	0,05	0,08	МИ-5Д
	<i>б</i>	0,08	0,08	МИ-5Е
	<i>в</i>	0,15	0,16	МИ-10Е
	<i>г</i>	0,8	0,8	МИ-15Е
	<i>a</i>	0,45	0,48	М-15Е
	<i>б</i>	0,30	0,32	М-20Д
	<i>в</i>	0,30	0,32	М-35Д
	<i>г</i>	1,12	1,12	М-5Е
	<i>a, б, в,</i> <i>г, д</i>	0,08х6 0,16	0,08х6 0,16	(3 секций) МИ-5Е
I вариант выбора секций питателя				
		0,65	0,8	МХ-25Е
		0,8	0,8	МХ-50Д
		0,64	0,8	
		2,17	2,4	МХ-75Е
II вариант выбора секций питателя (при удвоенном числе циклов)				
		0,65	0,32	М-10Е
		0,8	0,40	М-25Д
		0,64	0,40	
		2,17	1,12	М-35Е

Потери давления в трубопроводах определяют по формуле

$$\Delta p = 0,48 \frac{\nu Q L}{d^4},$$

где Q – расход смазочного материала в трубопроводе, см³/с;

d, L – диаметр и длина трубопровода, мм;

ν – вязкость смазочного материала, сСт;

Потеря давления $\Delta p_{\text{п}}$ в питателях может быть подсчитана упрощено по формулам:

$$\Delta p_{\text{п}} = 0,01 K Q \nu \quad \text{или} \quad \Delta p_{\text{п}} = K_3 + 0,01 K_1 K_2 Q \nu$$

Значения коэффициентов в зависимости от типа питателя приведены в табл.2.

Таблица 2

Тип питателя	Значения коэффициентов			
	K	K ₁	K ₂	K ₃
МИ	0,62	0,4	$\left(\frac{2,778}{\lg i_c}\right)^2$	1,5
М	0,58	0,27	$\left(\frac{2,175}{\lg i_c}\right)^2$	
МХ	0,12	0,1	$\left(\frac{1,944}{\lg i_c}\right)^2$	
МГ	-	0,016	$\left(\frac{1,175}{\lg i_c}\right)^2$	

Коэффициент K_1 характеризует размеры внутренних каналов питателя, коэффициент K_2 – влияние количества i_c секций в блоке питателей, коэффициент K_3 – инерцию и трение золотника питателя. Значение $\lg i_c$ определяется как логарифм отношения суммы чисел, указанных на секциях блока питателей, к числу секций.

В табл. 3 приведены значения пропускной способности питателей различных типов при вязкости смазочных материалов 180 сСт и допускаемое наибольшее число циклов питателей в минуту.

Таблица 3

Тип питателя	Пропускная способность л/мин	Наибольшее допускаемое число циклов в минуту
Н	1,0	300
МХ	4,0	250
МГ	16,0	200

Работа питателей при наибольшем допускаемом числе циклов в минуту не рекомендуется, так как при этом увеличиваются пики давления в системе и растет износ золотниковой пары.

Недостатки одномагистральных последовательных смазочных систем:

- отсутствие регулирования дозируемого объема по каждому из отводов в отдельности;

- сложность перераспределения при необходимости изменения величины дозы смазочного материала в одном из отводов;
- невозможность получения малых доз смазочного материала (менее $0,08 \text{ см}^3$), поскольку ход золотника, несущего распределительные функции, не может быть уменьшен;
- сложность разводки отводящих трубопроводов, выходящих от одного блока питателей.

4 Расчёт импульсных систем смазок

4.1 Импульсная смазочная система

Импульсная смазочная система – система, в которой смазочный материал подается ко всем поверхностям трения одновременно. Основное отличие рассматриваемой системы от остальных заключается в том, что ее распределительные устройства (импульсные питатели) объемного дозирования требуют для своей работы одной магистрали, в которой создается импульсный режим давления, т. е. магистраль попеременно связывается то с нагнетанием, то со сливом.

В общем случае импульсная система состоит из нагнетателя, импульсных питателей и контрольно – регулирующей аппаратуры. Питатели в импульсной системе подключают к нагнетателю параллельно. Нагнетатели могут иметь ручной, механический, пневматический, гидравлический и электрический привод, что отражается обычно в названии системы. На рис.7 приведена в общем виде гидравлическая схема импульсной смазочной системы с электроприводом.

При подаче питания на прибор управления 1 он включает электродвигатель нагнетателя (обычно смазочной станции 2), и смазочный материал подается к импульсным питателям 4. Последние срабатывают и подают заданные порции смазочного материала в точки подвода его на оборудовании непосредственно, либо через аппараты контроля 5. В отличие от последовательных систем простые импульсные системы не имеют централизованного контроля, а при необходимости контроля за поступлением смазочного материала к смазываемым точкам между ними и питателями устанавливают индивидуальные аппараты дистанционного либо визуального контроля.

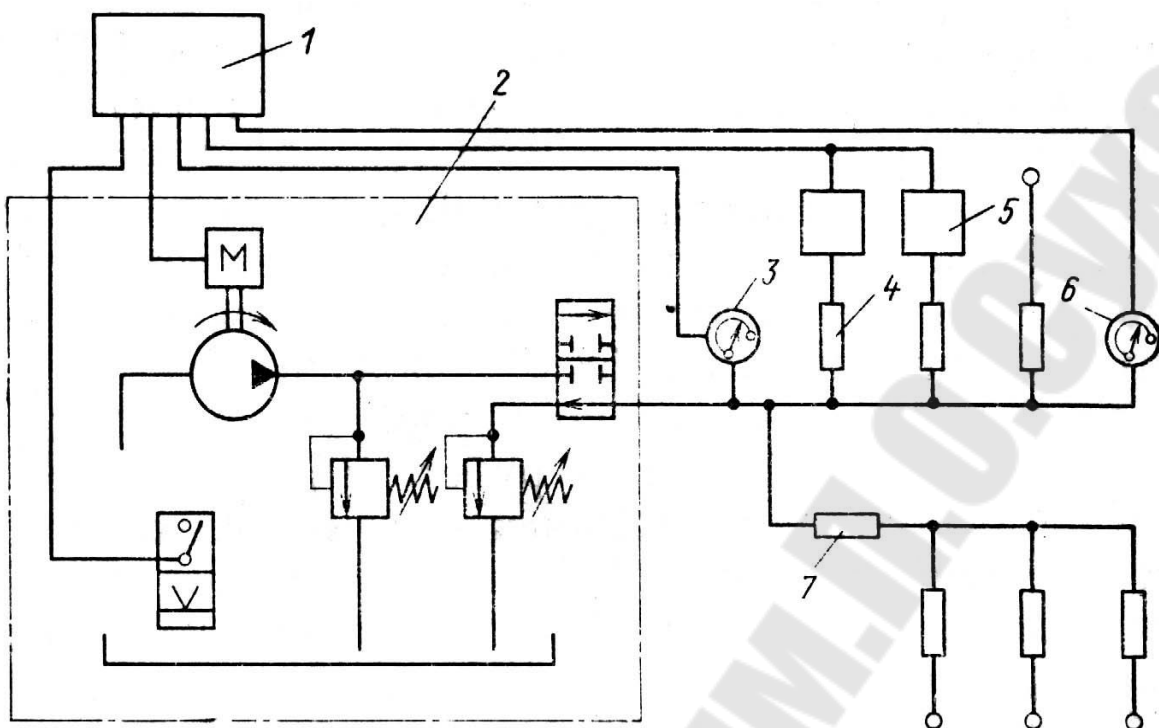


Рис. 7 Схема импульсной смазочной системы: 1 – прибор управления; 2 – смазочная станция; 3 – реле давления; 4 – импульсный питатель; 5 – аппарат контроля; 6 – реле давления; 7 – гидравлический счетчик

После срабатывания питателей давление в напорной магистрали повышается (поскольку питатели не проточные, а нагнетатель продолжает работать), и при достижении величины настройки реле давления 6, устанавливаемого обычно в конце наиболее длинного ответвления напорной магистрали, выдается сигнал на прибор управления. Через определенное время (время выдержки системы под давлением) прибор управления выключает электродвигатель смазочной станции и начинает отсчет заданного времени до следующего выключения. Если по каким – либо причинам (разгерметизация трубопроводов, неисправность нагнетателя) за установленное время давление в напорной магистрали не поднимется и сигнал от реле не поступит, загорается аварийный световой сигнал, выключается нагнетатель и при необходимости блокируется обслуживаемое оборудование. В случае применения системы дистанционного контроля то же происходит и при непоступлении от нее сигнала.

После выключения электродвигателя нагнетателя специальное разгрузочное устройство соединяет напорную магистраль через подпорный клапан с баком. Давление в магистрали падает до величины

настройки подпорного клапана, и питатели подготавливаются к следующему циклу работы (перезаряжаются). Подпорный клапан предотвращает опорожнение магистрали и подсос в нее воздуха. При падении давления в магистрали до заданной величины, гарантирующей перезарядку питателей, срабатывают реле давления 3, посылая сигнал в прибор управления. Если за время паузы по каким – либо причинам давление в магистрали не упадет и не поступит сигнала от этого реле давления, то прибор не включит двигатель, а выдаст световой сигнал и при необходимости блокируется обслуживаемое оборудование.

Иногда по условиям эксплуатации необходимо, чтобы отдельные ветви системы работали с цикличностью, отличной от цикличности работы нагнетателя. В этом случае в месте ответвления устанавливаются специальные устройства – гидравлические реле счета импульсов (гидравлические счетчики) 7, соединяющие эти ветви с нагнетателем через заданное число циклов работы последнего.

4.2 Импульсные питатели

Основные устройства импульсных систем – импульсные питатели выполняют по двум принципиальным схемам :

-с выдачей дозы в момент подачи на вход импульса давления (рис. 8,а, положение I) и перезарядкой за счет усилий предварительной деформации упругого элемента (рис. 8,а, положение II);

-с выдачей дозы за счет усилий предварительной деформации упругого элемента (рис. 8,б, положение I) и перезарядкой при подводе на вход импульса давления (рис. 8,б, положение II).

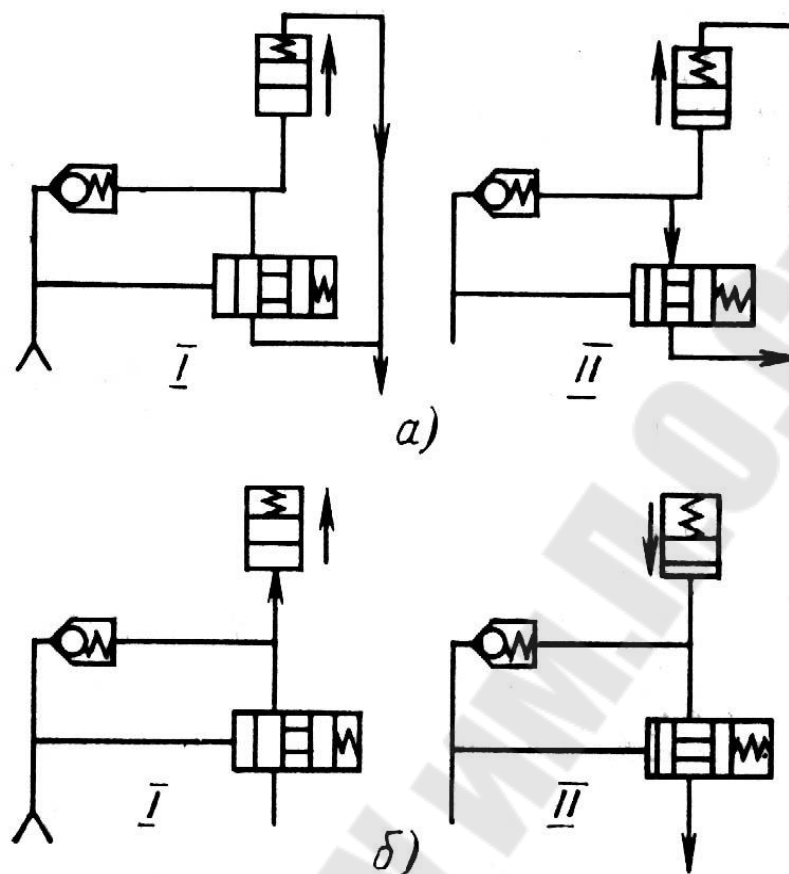


Рис. 8 Принципиальные схемы импульсных питателей

4.3 Определение типоразмеров и характеристик распределительной аппаратуры импульсных и двухмагистральных смазочных систем

В импульсных и двухмагистральных системах подача из отвода распределителя определяется только его типоразмером и не зависит от других распределителей и схемы их соединений. Поэтому для таких систем задача заключается только в подборе серийных распределителей и их блоков по номинальным подачам.

Типоразмерный ряд серийных импульсных питателей построен с перекрытием номинальных подач в смежных габаритах. Например, питатели с номинальной подачей $0,05 \text{ см}^3/\text{цикл}$ имеются как первого, так и второго габаритов (ГОСТ 10614 – 75). В таких случаях следует предпочитать питатели меньшего габарита, так как в связи с большим ходом дозирующего поршня они работают надежнее.

5 Выбор вида привода и системы управления и контроля, определение характеристик нагнетателей

5.1 Виды приводов смазочных систем

Применяемые и проектируемые в настоящее время смазочные системы оснащаются нагнетателями с электрическим, пневматическим, гидравлическим, механическим или ручным приводом.

Практика эксплуатации показывает, что смазывание оборудования, оснащенного смазочными системами с ручным приводом, проводится нерегулярно. В связи с этим такие системы целесообразно применять только для смазывания неответственных агрегатов не чаще одного раза в смену.

Системы с механическим приводом целесообразно применять в случаях, когда на смазываемом объекте имеются или легко установить устройства для приведения в возвратно-поступательное движение приводного элемента нагнетателя (эксцентрики, упоры, рычаги и т. п.).

Из нагнетателей такого типа серийно выпускают насосы многоотводные СН-5 и станции типа СОМ.

При использовании серийных нагнетателей с прямым приводом необходимо предусматривать в составе приводных устройств приспособления для ручной подкачки смазочного материала в ТВС перед пуском нового или долгое время неработавшего оборудования.

Системы с пневматическим и гидравлическим приводами целесообразно применять в случаях, когда смазываемый объект имеет пневмо- или гидромагистрали. Питание привода предпочтительно осуществлять от линий пневмо- или гидросистем, в которых в процессе работы объекта давление циклически изменяется от нуля до рабочего значения. Такие линии обычно подведены к гидро-или пневмоцилиндрам, осуществляющим перемещение или зажим рабочих органов машины или предметов обработки. Такое подключение привода позволяет согласовать рабочий цикл смазываемого объекта с режимом смазывания без дополнительных устройств. Если же частота импульсов давления в линии, питающей привод, велика и расход смазки получается чрезмерным, применяют делители частоты гидравлических или пневматических импульсов.

Если питание осуществляется от источника с постоянным давлением (магистраль сжатого воздуха, участок гидросистемы с постоянным давлением и т. п.), то в состав системы следует вводить

распределительное устройство, например реверсивный золотник, сообщающий цилиндр привода попеременно с напорной и сливной линиями (или атмосферой для пневмоприводов). Управление распределителем обычно выполняют автоматическим. Для этого используют распределители с электроуправлением и серийные приборы управления и контроля, поставляемые в комплекте с централизованными последовательными или импульсными смазочными системами.

Системы с электроприводом наиболее универсальны. Их применение зависит от наличия необходимого питания электродвигателя и системы управления и ограничивается требованиями взрывобезопасности. Следует, однако, учитывать относительно высокую стоимость таких систем из-за наличия электродвигателя и редуктора с высоким передаточным отношением, а также рост габаритов станций.

В качестве нагнетателей для смазочных систем непрерывной подачи обычно применяют станции с электроприводом. Номинальная подача станции должна быть на 10 – 20% выше расчетной (суммы расчетных расходов всех ТВС). Этот запас необходим для компенсации износа рабочих органов насоса в процессе эксплуатации. Снижение подачи станции до расчетной величины осуществляется дроссельными регуляторами расхода, входящими в ее состав. Излишек масла через предохранительный клапан сливается в бак.

Значительное увеличение запаса подачи нежелательно, так как вызывает дополнительные потери энергии на нагрев масла, дросселируемого в регуляторе и предохранительном клапане. Для уменьшения этих потерь на станциях для последовательных смазочных систем с резкими колебаниями давления следует применять регуляторы расхода с элементами, поддерживающими постоянный перепад на дросселирующей щели (например, дросселем с регулятором и предохранительными клапанами типа Г55-13).

По величине p_0 выбирают насос и настраивают его предохранительный клапан.

Если для рационального выбора насоса желательно понизить p_0 , необходимо уменьшить $\sum \Delta p_{\max}$ путем увеличения диаметров наиболее нагруженных участков трубопровода и провести повторный расчет.

5.2. Выбор системы управления и контроля

Непрерывные смазочные системы, как правило, применимы во всех случаях, когда необходимые расходы смазочного материала и ТВС могут быть обеспечены при непрерывном действии нагнетателя. Поскольку общий расход смазочного материала в этих случаях велик, такие системы обычно выполняют циркуляционными.

Управление непрерывными смазочными системами сводится к обеспечению своевременного запуска нагнетателя. С этой целью его пусковые устройства обычно включаются в схему управления обслуживаемой машины, которые срабатывают при подаче на нее питания или при пуске электродвигателя главного привода машины.

Наиболее надежный контроль работы системы может быть осуществлен в последовательных смазочных системах путем применения прибора, автоматически контролирующего частоту сигналов, поступающих от датчика индикатора циклов. Если трубопроводы системы имеют гибкие или подвижные соединения, то целесообразно установить реле минимального давления или индикатор разрыва линий. Такая схема контроля не реагирует на случайные запросы давления и в связи с этим может быть применена в случаях, когда сигнал о неисправности системы используется для аварийной остановки машины. Если немедленная остановка машины при неисправности смазочной системы невозможна или нецелесообразна, можно применить более простую, но также достаточно надежную схему контроля с двумя реле давления, настроенными на максимальное и минимальное давления.

В непрерывных системах других типов возможен контроль исправности нагнетателя визуально по манометру или с помощью реле давления.

В периодических смазочных системах управление заключается в своевременном включении и отключении нагнетателя или распределителя, подающего смазочный материал от напорной магистрали к распределителям системы. Применяют два вида управления: «управление по времени» и «управление по темпу». В первом случае запуск нагнетателя производится через заданные промежутки времени, во втором – через определенное число ходов или оборотов одного из рабочих органов машины. Отключение нагнетателя в обоих случаях производится либо через определенное время после

включения (дроссельные периодические системы), либо после того как завершен смазочный цикл.

Управление по времени применяют для систем, обслуживающих машины с постоянным или редко изменяющимся режимом работы, управление по темпу – для машин с резко выраженным переменным режимом работы (например, с частыми остановками).

Для осуществления управления по времени целесообразно применять серийные приборы типа ПВЕ, И-ЦСЭМ и подобные им.

Датчик индикатора циклов, выдающий команды на прибор ПВЕ, обычно устанавливают на центральном питателе последовательной системы, тогда за каждый смазочный цикл в систему выдаться объем смазочного материала, равный сумме номинальных подач центрального питателя, после чего нагнетатель отключается до следующего цикла. Если этого объема недостаточно, датчик циклов устанавливают на одном из питателей второго каскада, сумма номинальных подач которого больше номинальной подачи секции центрального питателя, или применяют прибор ВМС, отключающий нагнетатель после двух или нескольких срабатываний центрального питателя.

Приборы типа И-ЦСЭМ обычно получают сигналы от реле давления, устанавливаемого на ветви импульсной системы, в которой ожидаются наибольшие потери давления. В разветвленных системах с большой длиной трубопроводов для гарантированного срабатывания питателя предусматривается выдержка времени после срабатывания РД, после которой отключается нагнетатель.

Многие типы машин имеют сборочные единицы и агрегаты, которые работают эпизодически и значительную часть времени остаются отключенными. Во избежание излишнего расхода смазочных материалов и загрязнения ими наружных поверхностей машины целесообразно автоматически отключать ветви системы, обслуживающие эти агрегаты. Это может быть выполнено золотниками с электроуправлением от сигнала на включение или отключение обслуживаемого агрегата. Для последовательных систем необходимо при отключении такой ветви сообщать питающий ее трубопровод со сливом.

Управление по темпу осуществляется обычно с помощью электрического реле счета импульсов по сигналам датчика, на который воздействует циклически движущийся элемент машины. После накопления заданного количества импульсов выдается сигнал на

включение нагнетателя или золотника, сообщающего распределители системы с напорной магистралью. Возможно также осуществить управление по темпу, применив в качестве нагнетателя насос с механическим, пневматическим или гидравлическим приводом при синхронизации их работы с движением элементов машины.

При проектировании последовательных систем, работающих со значительной (более 30 МПа) разницей давления между отводами питателей, необходимо предусмотреть установку подпорных и дополнительных обратных клапанов, уравнивающих это давление. В противном случае значения подач из отводов более нагруженных секций могут отличаться от номинальных на 50% и более.

6 Контрольные задания. Примеры выполнения

6.1 Разработать смазочную систему дроссельного дозирования

Смазочная система, приведенная на рис. 5, состоит из насоса с предохранительным клапаном, трубопровода с участками $a - e$, $u_1 - u_6$, и дроссельных распределителей I – IV. Концевые участки трубопровода $k, л, н, о$ подведены к ТВС 1 – 13, причем в ТВС 2, 7, и 13 осуществлен герметичный подвод к зазорам пар трения с существенным гидравлическим сопротивлением, давление в корпусе подшипников (в точках ввода смазки 2, 7 и 13) $p_2 = 3 \cdot 10^4$ Па, $p_7 = 8 \cdot 10^4$ Па и $p_{13} = 12 \cdot 10^4$ Па, в остальных точках смазка осуществляется поливом и концевые отводы открыты в атмосферу. Система должна обеспечивать заданные расходы в каждую точку смазки ($Q_1 - Q_{13}$). Известны длины всех участков L , длины и диаметры концевых участков $l_{и1}, l_{и2}, l_{и3}, l_{л1}, l_{л2}$, суммарный расход смазочного материала Q в заданные точки смазывания (расход смазочного материала в каждую из заданных точек, выбирается произвольно), местные сопротивления тройников $\xi_{т}$, колен $\xi_{к}$, диаметры труб d , мм, плотность и вязкость смазочного материала ρ, ν .

Исходные данные к контрольным заданиям приведены в таблицах 4 и 5.

Последовательность выполнения работы:

1. Начертить схему СС в соответствии с заданным вариантом.
2. Определить расходы, диаметры трубопроводов, потери давления на трение и на местных сопротивлениях, перепады давления на

дресселирующих элементах распределителей при соответствующих расходах.

3. Используя справочную литературу выбрать нагнетатели, дроссельные питатели и другую аппаратуру в соответствии со схемой и соответствующую рассчитанным характеристикам, привести схемы и характеристики аппаратов.

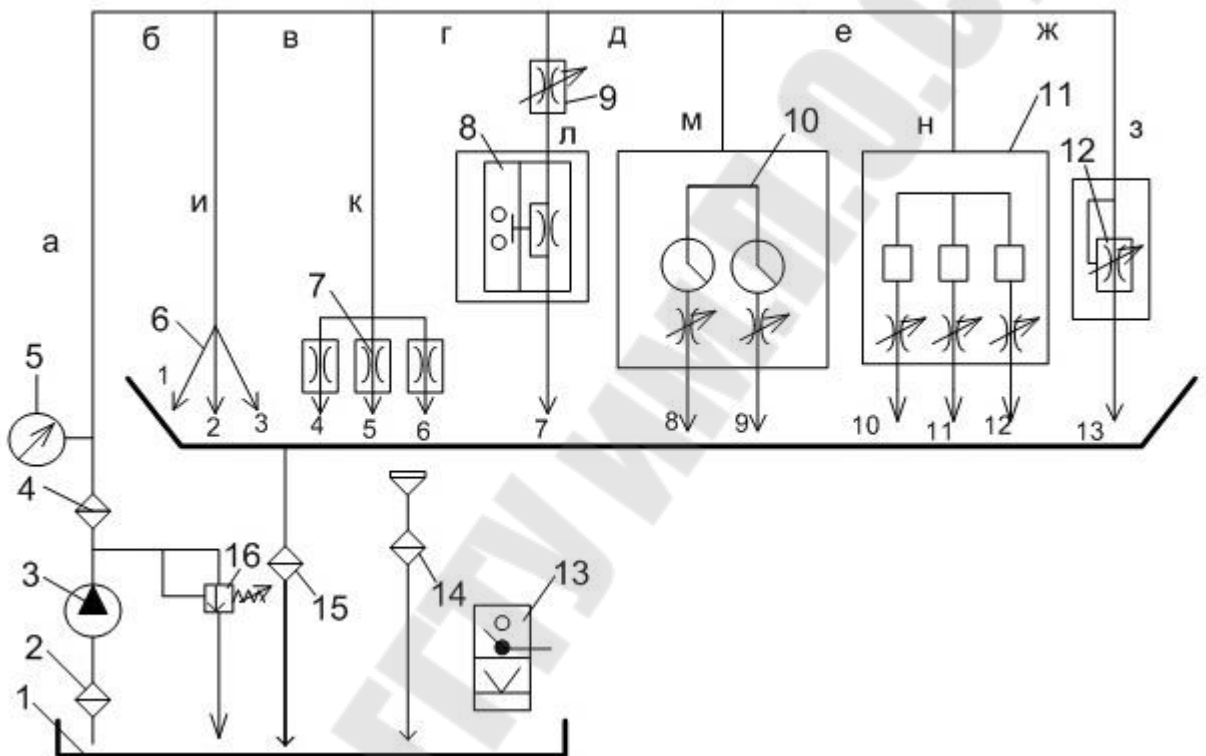


Рис.9 Схема смазочной системы дроссельного дозирования

Исходные данные к контрольным заданиям

Таблица 4

Вариант	Точки ввода смазки	L_a	L_b	L_b	L_Γ	L_d	L_e	$L_{\text{ж}}$	L_z	$L_{\text{и}}$	$L_{\text{и1,и2,и3}}$
		Длина трубопровода на указанном участке, мм									
1	1 – 6	100	50	50	-	-	-	-	-	100	50
2	1,3 – 7	100	0	100	0	-	-	-	-	15	0
3	7 – 9	200	-	-	-	100	-	-	-	-	-
4	1 – 6	-	100	200	-	-	-	-	-	-	-
5	10 – 13	250	-	-	-	-	-	100	100	-	-
6	4 – 7	200	200	0	100	-	-	-	-	-	-
7	7,10 – 12	200	0	0	250	100	0	-	-	-	-
8	1 – 3,8,9	200	50	0	0	200	-	-	-	150	80
9	10 – 13	300	200	0	0	0	0	100	120	-	-
10	1,3,8,9,13	180	500	0	0	0	0	150	200	250	100
11	8 – 13	300	400	0	0	0	150	150	150	-	-
12	4 – 7	500	100	0	150	-	-	-	-	-	-
13	1 – 6	450	0	200	-	-	-	-	-	180	70
14	4,6,7,13	200	0	200	80	0	0	0	300	-	-
15	8 – 12	550	80	0	0	0	300	-	-	-	-

Таблица 5

Вариант	L_K	L_L	$L_{Л1}$	L_M	L_H	Q_1
	Длина трубопровода на указанном участке, мм					Суммарный расход ТВС, л/мин
1	-	-	-	-	-	1,3
2	-	50	50	-	-	0,2
3	0	110	50	120	-	0,26
4	-	-	-	-	-	0,15
5	-	-	-	-	100	0,11
6	100	100	50	-	-	1,45
7	-	120	80	-	120	0,66
8	-	-	-	150	-	0,48
9	-	-	-	-	200	0,46
10	-	200	80	100	-	0,35
11	-	-	-	100	100	0,42
12	120	150	120	-	-	0,97
13	250	50	150	-	-	0,36
14	150	100	100	-	-	1,15
15	-	-	-	130	130	2,6

6.1.1 Пример выполнения контрольного задания

Условие задания приведено в п. 6.1. Схема смазочной системы дроссельного дозирования соответствующая заданию (вариант 14) приведена на рис. 10, исходные данные выбираются из таблицы 4, 5 и приведены в таблице 6.

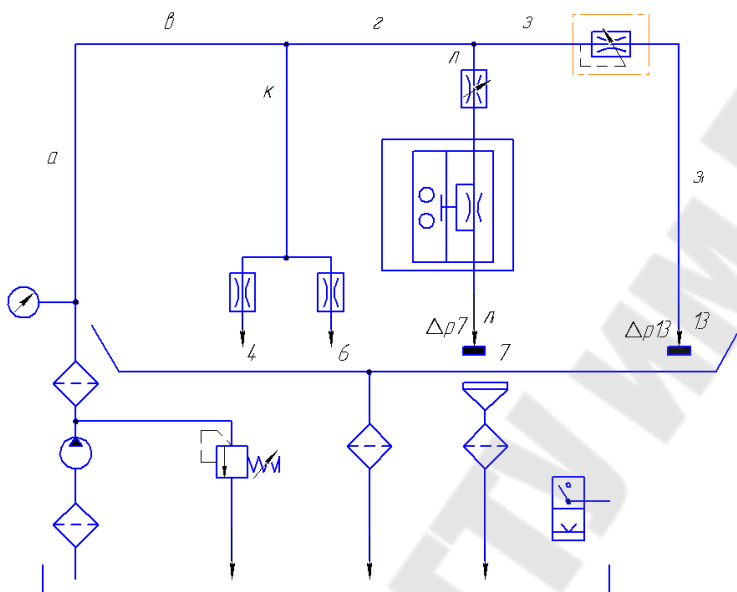


Рис.10 Схема смазочной системы дроссельного дозирования

Исходные данные

Таблица 6

L_a , мм	L_b , мм	L_v , мм	L_r , мм	L_d , мм	L_e , мм	$L_ж$, мм	L_z , мм	L_k , мм	L_l , мм	$L_{л1}$, мм	Q , л/мин
200	0	200	80	0	0	0	300	150	100	100	1,15

2. Определяем характеристики дроссельных распределителей обеспечивающих в смазочной системе дроссельного дозирования заданный расход Q_i в заданных точках смазывания i .

Суммируя разветвляющиеся потоки, находим расходы на участках трубопровода:

$$Q_2 = Q_l + Q_3 = 0,575 \text{ л/мин};$$

$$Q_6 = Q_k + Q_r = 1,15 \text{ л/мин};$$

$$Q_a = Q_b = 1,15 \text{ л/мин};$$

$$Q_k = Q_4 + Q_6 = 0,575 \text{ л/мин};$$

$$Q_4 = 0,2875 \text{ л/мин};$$

$$Q_6 = 0,2875 \text{ л/мин};$$

$$Q_l = 0,2875 \text{ л/мин};$$

$$Q_3 = 0,2875 \text{ л/мин}.$$

Задаемся диаметрами трубопроводов на всех участках, так чтобы скорость масла в них $v = \frac{4Q}{\pi d^2}$ не превышала 3 м/с и

соответственно:

$$d_{a,b} = \sqrt{\frac{4Q}{9\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot (1,15 : 60000)}{0,975 \cdot 3,1415}} = 5,002 \cdot 10^{-3} \text{ м} \approx 5 \text{ мм};$$

$$d_{k,z} = \sqrt{\frac{4Q}{9\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot (0,575 : 60000)}{0,975 \cdot 3,1415}} = 3,541 \cdot 10^{-3} \text{ м} \approx 3,5 \text{ мм};$$

$$d_{l,z} = \sqrt{\frac{4Q}{9\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot (0,287 : 60000)}{0,975 \cdot 3,1415}} = 2,504 \cdot 10^{-3} \text{ м} \approx 2,5 \text{ мм}.$$

Для каждого участка системы выбираем проводящие трубки ([2] таблица 1), характеристики приведены в таблице 7

Проводящие трубки

Таблица 7

Участок	Трубка	Код	$D_{нар}/D_{вн}$	Масса, кг/м	Макс. раб. давлен., бар	Давление разрыва, бар	Миним. радиус изгиба, мм
а, в	Нейлон PA12 SR	30.16 2.0	8x5	0,032	48	193.5	80
к, г	Нейлон PA6	30.12 0.0	6x4	0,024	30	120	120
л, з	Нейлон PA12 SR	30.16 0.0	4x2.5	0,008	48	193	36

Для определения режима течения жидкости находим число Рейнольдса по формуле

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu},$$

где ν – кинематическая вязкость $\nu = 30$ сСт.

Расчет произведем для наибольшего диаметра $d_{a,b} = 5$ мм

$$Re = \frac{0,975 \cdot 5 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 10^{-4}} = 16,25.$$

Режим течения жидкости ламинарный, следовательно коэффициент сопротивления определяют Δp по формуле

$$\Delta p_{TP} = \frac{128lv\gamma Q}{\pi g d^4}, \text{ МПа},$$

где l – длина трубы, м;

γ – удельный вес, Н/м³;

Q – расход, м³/с;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

d – внутренний диаметр трубы, м.

$$\Delta p_{mp_3} = \frac{128 \cdot 0,3 \cdot 1 \cdot 10^{-4} \cdot 1000 \cdot (0,287 : 60000)}{3,14 \cdot 9,81 \cdot (2,5 \cdot 10^{-3})^4} = 0,045 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$\Delta p_{mp_1} = 0,015 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$\Delta p_{mp_2} = 0,0064 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$\Delta p_{mp_4} = 0,012 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$\Delta p_{mp_5} = 0,0076 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

$$\Delta p_{mp_6} = 0,0076 \cdot 10^5 \text{ Па}.$$

Потери на трение принимаем по наибольшему значению (наиболее длинному трубопроводу)

$$\sum \Delta p_{mp} = 0,045 + 0,0064 + 0,0076 + 0,0076 = 0,0666 \text{ МПа}.$$

Потери давления на местных сопротивлениях определяют по формуле

$$\Delta p_{MC} = \zeta \frac{\vartheta^2 \gamma}{2g},$$

где ζ – коэффициент местного сопротивления;

ϑ – скорость потока через сопротивление, м/с.

Значения ζ для местных сопротивлений, встречающихся в смазочных системах, не превышают 5,5, а Δp_{MC} обычно меньше 0,03 МПа.

Для наглядного отображения делаем расчет для одного из сопротивлений – фильтра напорного

$$\Delta p_{MC} = \zeta \frac{g^2 \gamma}{2g} = 2 \cdot \frac{0,975^2 \cdot 10000}{2 \cdot 9,8} = 0,001 \text{ МПа.}$$

Следовательно можем задаться значением $\Delta p_{MC} = 0,03 \text{ МПа}$ для всей системы. Перепад давления на дросселе (в линии з) $\Delta p_D = 0,1 \text{ МПа}$, избыточное давление в ТВС 13 по условию $12 \cdot 10^4 \text{ Па}$. Наибольшие потери давления будут в линии а – 13

$$\sum \Delta p = 0,0666 + 0,003 + 0,1 + 0,12 = 0,2896 \text{ МПа}$$

Принимаем давление после насоса p_0 таким, чтобы оно в 3–4 раза превышало максимальную величину $\sum \Delta p$, т.е. ($p_0 > (3-4) \sum \Delta p$). Такое превышение желательно для уменьшения влияния возможных отклонений фактических величин $\sum \Delta p$ от расчетных из-за погрешностей расчета и изготовления трубопроводов. Поэтому, с учетом повышающего коэффициента потери давления (давление для выбора насосной установки) $\Delta p \approx 1 \text{ МПа}$

Находим значения расходов точек 4 и 6

$$Q = \frac{\pi g d^4 \Delta p}{128 l \nu \gamma}$$

$$Q = \frac{3,14 \cdot 9,8 \cdot 4^4 \cdot 0,1 \cdot 10^6}{128 \cdot 0,55 \cdot 0,0003 \cdot 10000 \cdot 60000} = 0,546 \text{ л / мин.}$$

Следовательно расход в точке 4 и 6

$$Q_{4,6} = \frac{0,546}{2} = 0,276 \text{ л / мин}$$

Выбор аппаратуры

1. Исходя из номинальной подачи и номинального давления нагнетания выбираем станцию МС48-13М УХЛ4 ТУ2-053-1709-84 с параметрами [6]:

- номинальная подача $Q = 1,85 \text{ л/мин}$,
- номинальное давление нагнетания $P = 3,0 \text{ МПа}$,
- номинальная мощность, $0,09 \text{ кВт}$,
- объёмный КПД – $0,5$.
- тонкость фильтрации масла на выходе из станции $0,08 \text{ мм}$;
- мощность электродвигателя $0,12 \text{ кВт}$.

Смазочная станция (рис. 11) состоит из насосной установки, фильтров, предохранительного клапана и бака. Насосная установка выполнена на базе шестеренного насоса в сочетании с фланцевым электродвигателем 9. Для тонкой очистки масла на

напорной линии насоса установлен сетчатый фильтр 7. Для очистки масла на сливе из системы или при заливке в бак служит заливной фильтр 5. В этот фильтр входят магнитный патрон 3, сетчатый стакан 2 и воздушный фильтр 6, предназначенный для очистки от пыли воздуха, поступившего в бак 4. Масло очищается в силовом поле магнитного патрона, а затем проходит через сетчатый стакан.

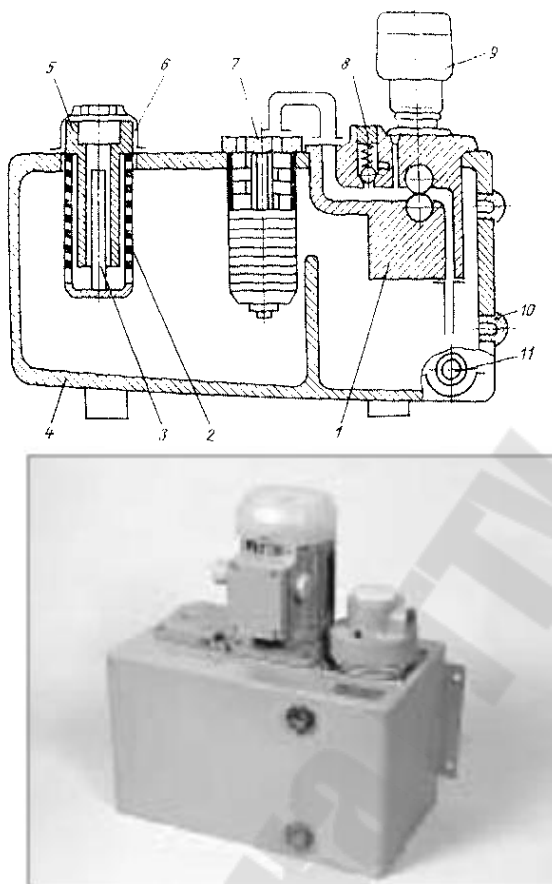


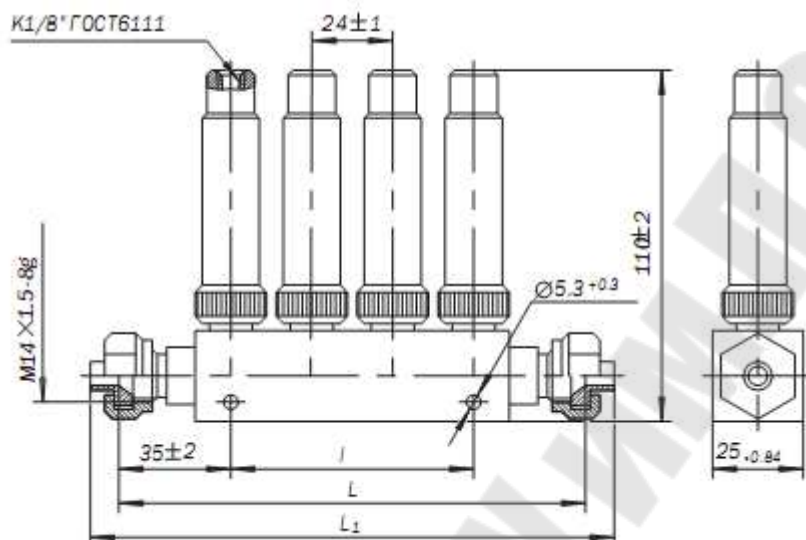
Рис. 11 Смазочная станция С48, схема и общий вид станции С48-11М

В напорной магистрали установлен предохранительный клапан 8 встроенного типа. Бак станции имеет коробчатую форму с тремя окнами для встраивания насосной установки, сетчатого фильтра и заливного фильтра. Внутренняя полость бака разделена на два отсека. Масло из бака сливается через пробки 11. Уровень масла контролируется указателем уровня 10.

2. Выбираем питатель – блок дроссельный рис.12 БДИ2 УХЛ4 [6] с техническими характеристиками:

Расход в подводе, л/мин:

-номинальный, л/мин (при перепаде давлений на дросселе 0,1 МПа)	0,63 ± 0,063
-наименьший стабильный (при перепаде давлений на дросселе 0,05 МПа)	0,035
Номинальное давление перед блоком, МПа	1,6
Вязкость смазочного материала, сСт	80 – 85



Типоразмер	L, не более	$l^{+0,4}$	L ₁ , не более
БДИ2	100	25	120

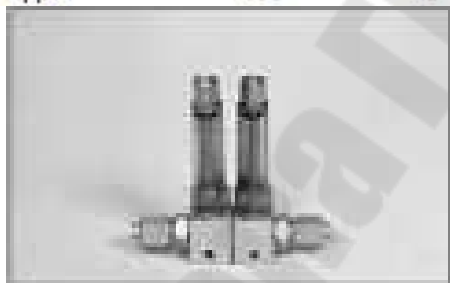


Рис. 12 Блок дроссельный смазочный БДИ2, присоединительные размеры дроссельного блока и общий вид

3. Выбираем два смазочных дросселя 10 по ТУ 24.00.10.016-88 [6].
4. Выбираем реле расхода рис.13 РКР-РТ70 ГОСТ 9417-75 [6].

Настраиваемые реле расхода используются в системах с замкнутым циклом смазки для контроля потока смазки. Перемещая геркон, можно выставить требуемый расход по шкале, расположенной на

корпусе реле. Поплавок с постоянным магнитом включает герконовое (электрическое) реле при уменьшении расхода. Реле расхода необходимо устанавливать строго вертикально.



Рис. 13 Реле расхода, общий вид

Технические характеристики:

Диапазон контролируемых расходов от 0,3 л/мин до 60

Диапазон температур от -20 до +80

Крепление вертикальное

Диапазон расхода, 0,3 – 3 л/мин

Максимальное рабочее 50бар (5,0МПа)

6.2 Разработать смазочную систему последовательного действия

При проектировании одномагистральных смазочных систем исходными данными являются число отводов, заданные подачи в них смазочного материала, вид смазочного материала и давление, под которым смазочный материал подводится к смазочной точке.

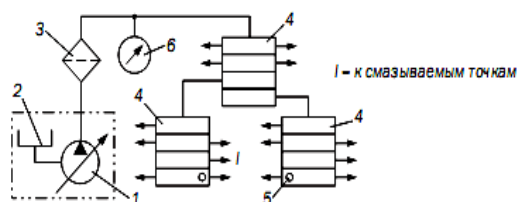
Разработать СС для смазывания заданных узлов (зон смазывания) машины. Смазывание узлов производится периодически или непрерывно. Задан суммарный расход смазочного материала (минеральное масло с кинематической вязкостью 100 мм²/с (сСт)) Q для каждого узла (зоны смазывания) за 8 часов работы машины, приведены схемы примерной СС последовательного действия.

По приведенным в таблице данным подобрать (рассчитать) и выбрать, используя справочную литературу, питатели, нагнетатели, контрольную и др. аппаратуру для СС последовательного действия.

Исходные данные приведены в соответствии со схемой заданной вариантом.

Последовательные питатели подобрать и сгруппировать таким образом, чтобы в каждую ТВС подавался заданный расход смазочного материала.

Вариант 1



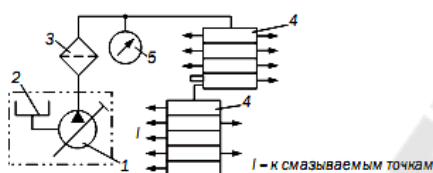
- 1 – станция смазочная (насос) с механическим приводом;
- 2 – резервуар;
- 3 – фильтр;
- 4 – питатель;
- 5 – индикатор блокирования линии;
- 6 – манометр

Рис.14

Номер питателя	I		II		III	
Узел (зона смазывания)	1	2	3	4	5	6
Количество ТВС	3	3	3	3	2	2
Суммарный расход Q , см ³ /цикл	0,32	0,48	0,65	0,16	1,3	1,3

Вариант 2

Схема примерная смазочной системы с ручным приводом



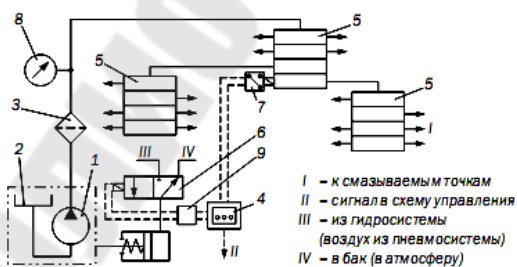
- 1 – станция смазочная (насос) с ручным приводом;
- 2 – резервуар;
- 3 – фильтр;
- 4 – питатель;
- 5 – манометр

Рис.15

Номер питателя	I		II	
Узел (зона смазывания)	1	2	3	4
Количество ТВС	3	4	5	2
Суммарный расход Q , см ³ /цикл	0,25	1,30	0,65	0,16

Вариант 3

Схема примерная смазочной системы с гидравлическим (пневматическим) приводом



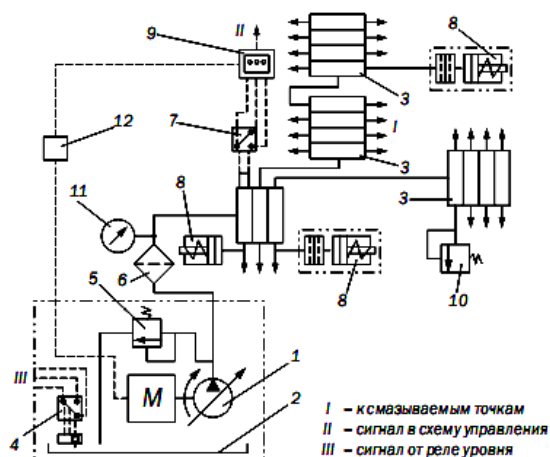
- 1 – станция смазочная (насос) с гидравлическим (пневматическим) приводом;
 - 2 – резервуар;
 - 3 – фильтр;
 - 4 – блок управления;
 - 5 – питатель;
 - 6 – золотник распределительный (пневмораспределитель);
 - 7 – выключатель конечный;
 - 8 – манометр;
 - 9 – реле промежуточное (в комплект поставки не входит)
- I – к смазываемым точкам
 II – сигнал в схему управления
 III – из гидросистемы (воздух из пневмосистемы)
 IV – в бак (в атмосферу)

Рис.16

Номер питателя	I		II		III	
Узел (зона смазывания)	1	2	3	4	5	6
Количество ТВС	3	3	3	3	2	2
Суммарный расход Q , см ³ /цикл	0,64	0,64	0,65	0,16	1,6	1,6

Вариант 4

Схема примерная смазочной системы с электрическим приводом



- 1 – станция смазочная с электроприводом;
- 2 – резервуар;
- 3 – питатель;
- 4 – реле уровня;
- 5 – устройство предохранительное;
- 6 – фильтр;
- 7 – выключатель конечный;
- 8 – индикатор блокирования линии;
- 9 – блок управления;
- 10 – клапан предохранительный;
- 11 – манометр;
- 12 – реле промежуточное (в комплект поставки не входит).

Рис.17

Номер питателя	I		II		III		IV
Узел (зона смазывания)	1	2	3	4	5	6	7
Количество ТВС	3	4	4	3	4	3	3
Суммарный расход Q , см ³ /цикл	0,24	0,4	0,9	0,49	0,72	0,55	4

Вариант 5

Схема примерная циркуляционной смазочной системы С-ЦЭМ

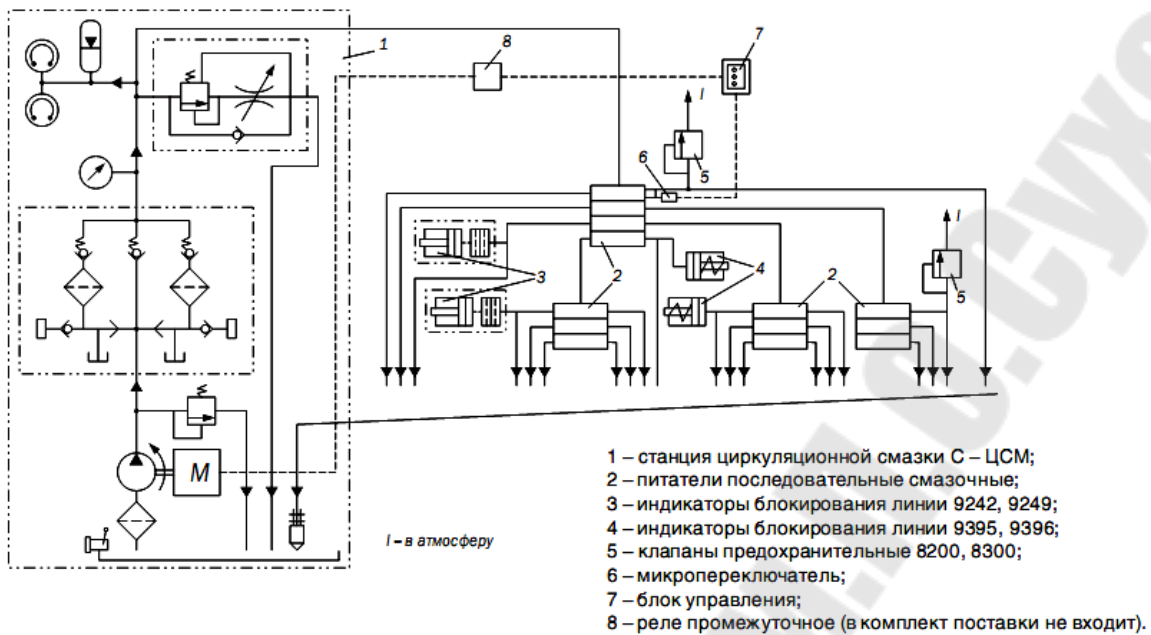


Рис.18

Номер питателя	I		II		III	IV	
Узел (зона смазывания)	1	2	3	4	5	6	7
Количество ТВС	3	4	4	3	4	3	3
Суммарный расход Q , см ³ /цикл	0,4	0,4	0,55	0,55	1,10	4,15	0,95

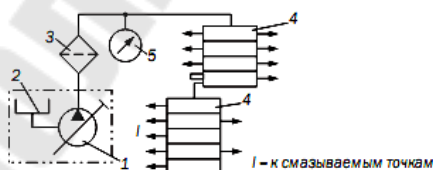
6.2.1 Пример выполнения контрольного задания

Исходные данные

Вариант 2

Разработать СС для смазывания 4-х узлов (зон смазывания) машины. Смазывание узлов производить 2 раза в смену. Суммарный расход смазочного материала (минеральное масло с кинематической вязкостью 100 мм²/с (сСт)) Q за цикл, схема примерной СС приведена на рис.13.

Схема примерная смазочной системы с ручным приводом



- 1 – станция смазочная (насос) с ручным приводом;
- 2 – резервуар;
- 3 – фильтр;
- 4 – питатель;
- 5 – манометр

Рис.19

Номер питателя	1		2	
	1	2	3	4
Узел (зона смазывания)	1	2	3	4
Количество ТВС	3	4	5	2
Суммарный расход Q , см ³ /цикл	0,25	0,70	0,50	0,16

Первый питатель обслуживает первую и вторую зоны ТВС, второй питатель третью и четвертую зоны ТВС. В первую зону, т.е. точки 1,3,5 суммарный расход $Q = 0,25$ см³/цикл, во вторую зону – точки 2,4,6,7, $Q = 0,7$ см³/цикл, в третью зону – точки 1,2,4,5,7, $Q = 0,5$ см³/цикл, в четвертую – точки 3,6 $Q = 0,16$ см³/цикл рис. 17. Количество смазочного материала в каждую ТВС распределяем произвольно. Так как смазывание производится 2 раза за смену – расход удваивается.

Расчет СС начинаем с выбора питателей и формирования блоков питателей.

Для расчета **первичного питателя** определяют суммарные подачи смазочного материала вторичными питателями за цикл. При минимальной подаче смазочного материала в отвод первичного питателя выбирается его базовая секция.

Одна из секций питателя 1 должна иметь расход в один отвод равный расходу второго питателя. В случае выбора питателя типа МИ наибольший расход имеет секция МИ15Д $Q_2=480$ мм³/цикл, соответственно и ТВС 7 второго питателя имеет такой же расход $Q_{2/7}=480$ мм³/цикл.

Секции питателей типа МИ для 2-го питателя должны обеспечить расход в зону 3 – 500 мм³/цикл, в зону 4 – 160 мм³/цикл. Т.к. наименьший расход у питателей типа МИ 80 мм³/цикл, то нельзя подобрать секции 2-го питателя в комплектации приведенной на схеме рис. 13. Поэтому 2-й питатель будет состоять из 4-х секций МИ5.

Питатель 2: для всех ТВС выбираем 4 секции с расходом 80 мм³/цикл типа МИ рис. 17. В итоге суммарный расход 2-го питателя $Q_2=640$ мм³/цикл: в третью зону – 480 мм³/цикл, в четвертую – 160 мм³/цикл.

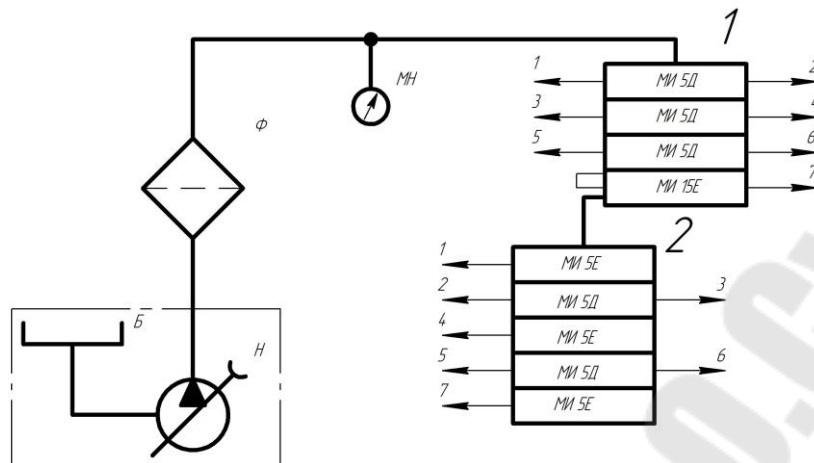


Рис.20

Питатель 1: расход в ТВС 7 равен расходу 2-го питателя $Q_{1/7}=480 \text{ мм}^3/\text{цикл}$, в остальные 6 ТВС выбираем питатели с расходом $80 \text{ мм}^3/\text{цикл}$. Выбираем питатели последовательные смазочного типа МИ5. Общий расход 1-го питателя $Q_1 = 6 \cdot 80 + 480 = 960 \text{ мм}^3/\text{цикл}$: в первую зону – $240 \text{ мм}^3/\text{цикл}$, во вторую – $720 \text{ мм}^3/\text{цикл}$.

Технические характеристики.

Основные параметры питателей последовательно смазочных при их работе на минеральных маслах с кинематической вязкостью от 90 до $110 \text{ мм}^2/\text{с}$ (сСт).

Норма исполнения	МИ
1. Давление на входе, бар - номинальное - минимальное (перепад давлений), не более	100 12
2. Номинальный подаваемый объём смазочного материала в один отвод за цикл, см^3 , для промежуточной секции типоразмеров: 5Д 5Е 15Е	0,08 0,16 0,48
3. Частота циклов, мин^{-1} - номинальное - максимальное	60 300
4. Вид смазочного материала	Жидкий,

	пластичный
5. Допустимое количество промежуточных секций	3...7

Для блока 1 выбираем питатель МИ-3 (5Д-5Д-5Д-15Е) УХЛ ТУ У 054 09685.004-2000:

Для точки 1, 2 – Питатель МИ 5Д;

Для точки 3, 4 – Питатель МИ 5Д;

Для точки 5, 6 – Питатель МИ 5Д;

Для точки 7, 8 – Питатель МИ 20ДВ;

Для блока 2 выбираем питатель МИ-3 (5Е-5Д-5Е-5Д-5Е) УХЛ ТУ У 054 09685.004-2000:

Для точки 1 – Питатель МИ 5Е;

Для точки 2, 3 – Питатель МИ 5Д;

Для точки 4 – Питатель МИ 5Е;

Для точки 5, 6 – Питатель МИ 5Д;

Для точки 7 – Питатель МИ 5Е;

Выбранные питатели обеспечивают заданный расход с погрешностью < 5%.

Далее, используя рекомендации в п.3.3 определяем потери давления на трение по длине трубопроводов, местные потери (на питателях, фильтрах и др. аппаратах) $\sum \Delta p = 0,2$ МПа.

Выбираем напорный фильтр 2НГ16-10М22 ТУ У29.205409685.005 – 2002.

Технические характеристики

Номинальное давление, бар	160
Тонкость фильтрации, мкм	10
Условный проход, мм	12
Номинальный перепад давление, бар	0,016
Масса кг	7,0

Выбираем насос смазочный с механическим приводом типа С16-21

Технические условия ТУ У29.1-32186887 – 78

Основные технические характеристики насоса

Тип насоса	одноплунжерный
Производительность за 1 двойной ход см ³ /цикл	1,5

Вместительность резервуара, см ³	0,25
Номинальная подача дм ³ /мин, не менее	5,0
Давление на выходе, бар, не менее	10
Масса без смазочного материала	4,2

6.3 Разработать смазочную систему и монтажную схему для смазывания узлов машины

Вид технологической или мобильной машины задается из источника [2] или [3], карты смазки, рекомендации по выбору смазочных материалов, количество смазочного материала также приведены в источниках [2] и [3].

При необходимости количество смазочного материала можно рассчитать по рекомендациям приведенным в п.1.2 данной работы или источниках [2] и [3].

Выбор смазочной системы производят после оценки характеристик различных типов систем применительно к особенностям смазываемых объектов. Целесообразно рассмотреть несколько вариантов и сопоставить их технико-экономические и эксплуатационные характеристики. Для первого варианта можно использовать данные табл. 8 и 9.

Рекомендации по выбору вида смазочной системы

Таблица 7

Параметры	Тип				
	Дроссельный	Импульсный	Последовательный	Двухмагистральный	С многоотводными насосами
Смазочный материал:					
жидкий	+	+	+	+	+
пластичный	—	—	+	+	+
Расход смазочного материала, л/мин:					
до 0,03	—	+	+	+	+
0,03—0,5	—	—	+	+	—
0,5—2,5	+	—	+	+	—

2,5—20	+	—	+	—	—
20	+	—	—	—	—
Число ТВС:					
до 12	+	+	+	—	+
12—30	+	+	+	—	—
св. 30	+	+	+	+	—
Максимальное давление нагнетания, МПа:					
до 0,6	+	—	—	—	+
до 1,6	—	+	+	+	+
св. 1,6	—	—	+	+	+

Если условия работы смазочной системы и требования к ней не могут быть удовлетворены с достаточной полнотой ни одним из приведенных в табл.7 типов систем, следует применять комбинированные смазочные системы.

Относительная стоимость серийных узлов и аппаратов смазочных систем (на одну ТВС) оценивается по табл. 8.

Относительная стоимость серийных узлов и аппаратов смазочных систем (на одну ТВС)

Таблица 8

Тип системы	Число точек ввода смазки			
	До 12	13 – 30	31 – 50	Свыше 50
Последовательная, периодической подачи с ручным, пневматическим, гидравлическим или механическим приводом	1,0	1,0	1,0	1,0
То же, с механическим приводом и редуцирующим устройством	1,7	1,5	1,3	1,15
То же, с электроприводом	2,3	1,8	1,5	1,3
Импульсная с электроприводом	2,2	1,7	1,3	1,1
Дроссельного дозирования с электроприводом	2,0	1,6	1,2	1,0

Двухмагистральная с электроприводом	2,5	2,4	1,2	0,8
Циркуляционная, последовательная непрерывной подачи	9,0	6,0	4,5	3,0
Многоотводный насос с электроприводом	2,4			

Примечание. Стоимость приборов управления и контроля не учтена

Далее производим проектирование смазочной системы по алгоритмам и рекомендациям приведенным в данной работе. Примерные схемы монтажа смазочного оборудования приведены на рис.21 и 22.

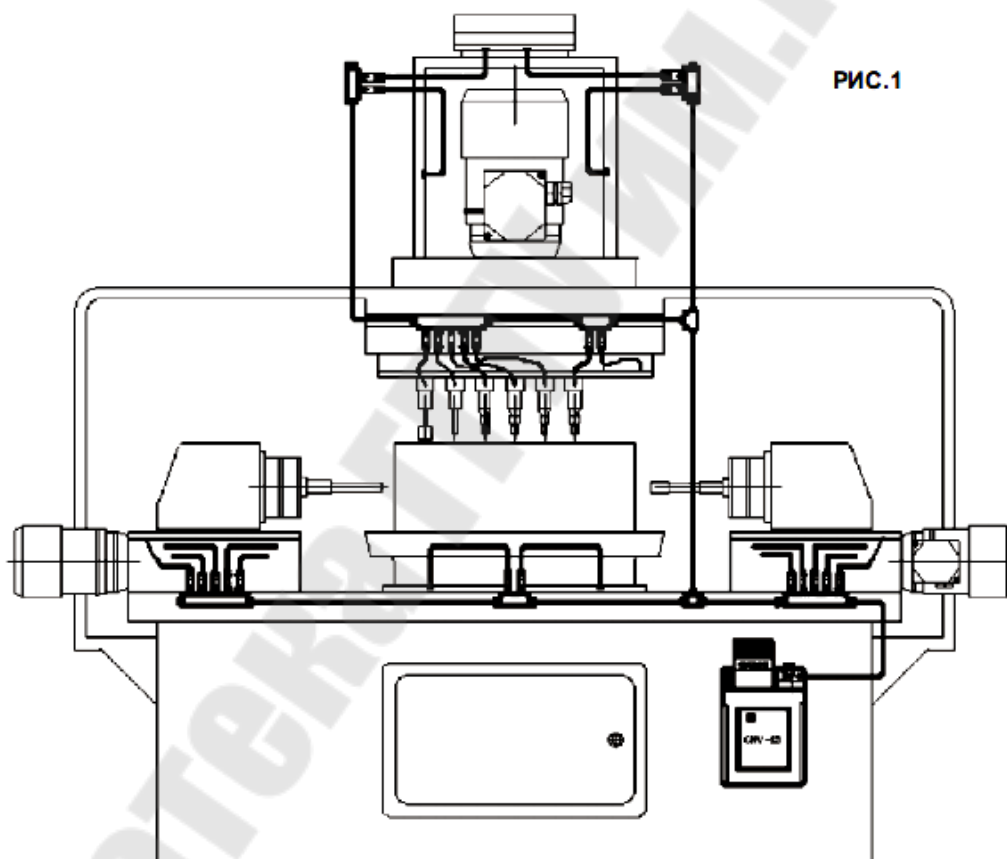


Рис.21 Схема смазочной системы дроссельного дозирования

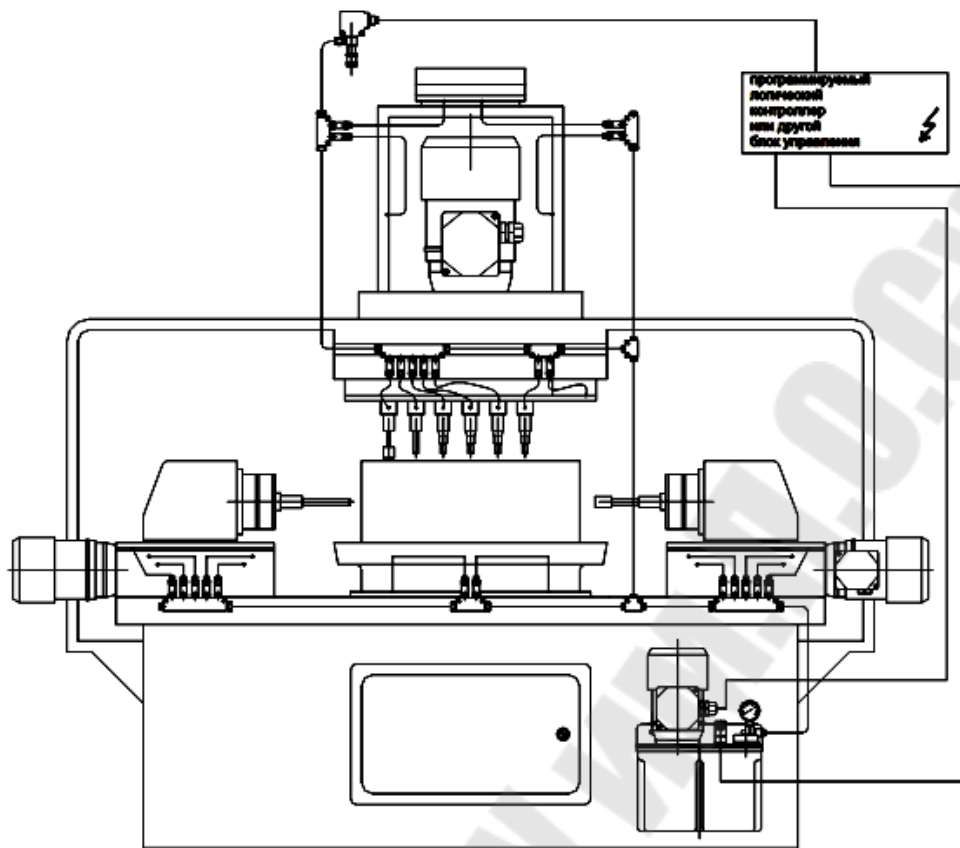


Рис.22 Схема смазочной системы импульсного действия

Контрольные вопросы

- 1 В какой последовательности производится расчет параметров систем жидкой смазки?
- 2 Приведите формулу для упрощенного расчета количества смазочного материала для смазывания подшипников, зубчатых и червячных передач, цепей. Какая толщины смазочной плёнки при этом рекомендуются для масла, для пластичной смазки?
- 3 Объяснить по схеме работу и назначение аппаратов смазочной системы дроссельного дозирования.
- 4 Расскажите алгоритм расчета потерь давления в трубопроводах смазочных систем.
- 5 Как рассчитать потери давления в местных сопротивлениях, какие рекомендации по определению потерь давления в местных сопротивлениях приведены в данном практикуме

6 Объяснить устройство и работу дросселя и дроссельного блока смазочной системы по схеме. Особенности систем дроссельного дозирования.

7 Двухмагистральные смазочные системы. Объяснить по схеме работу и назначение аппаратов системы.

8 Последовательные смазочные системы. Объяснить по схеме работу и назначение аппаратов системы.

9 Объяснить устройство и работу питателя одномагистральной последовательной смазочной системы.

10 Объяснить правила расчета и выбора питателей одномагистральной последовательной смазочной системы.

11 Импульсные смазочные системы. Объяснить по схеме работу и назначение аппаратов системы.

12 Объяснить устройство и работу питателей импульсных смазочных систем.

13 Назовите основные характеристики дроссельных и последовательных смазочных питателей, объясните правила их выбора.

14 Объясните принцип работы и правила выбора последовательных смазочных питателей.

15 Объяснить устройство и работу гидравлического счетчика (реле счета) импульсов, по схеме.

16 Расскажите правила выбора типа смазочной системы при проектировании.

Список используемой литературы

1. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам. / Под общ. ред. Б.Б. Некрасова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Мн.: Выш. шк., 1985. – 382 с.
2. Справочник по применению и нормам расхода смазочных материалов. В 2-х т. Т1 / Под ред. Е.А. Эминова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: «Химия», 1969. – 384 с.
3. Справочник по применению и нормам расхода смазочных материалов. В 2-х т. Т2 / Под ред. Е.А. Эминова. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: «Химия», 1969. – 3 с.
4. Конструирование и расчет систем смазки: пособие по одноименному курсу для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» дневное формы обучения /авт.-сост.: Н.Н.Михневич, А.В.Михневич. – Гомель: ГГТУ им. П.О.Сухого, 2008. – 39 с.
5. Курс лекций по дисциплине «Конструирование и расчет систем смазки» для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» дневной и заочной форм обучения /авт.-сост.: Г.С. Кульгейко. – Гомель: ГГТУ им. П.О.Сухого, 2012. – 80 с.
6. Смазочное оборудование. Каталог Николаевского завода смазочных систем. 2000. – 140 с.