



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
INSENERITEADUSKOND

Virumaa Kolledž

Real-ja tehnikateaduste keskus

HÜDRO- ja PNEUMOAJAMID

RAR 0070

**HÜDROSÜSTEEMI PROJEKTEERIMINE
ja SKEEMI KOOSTAMINE**

Autor:

Matrikli nr:

Rühm:

Juhendaja: G.Arjassov

Kohtla-Järve

2018

Исходные данные:

Масса, kg	$m = 1400 \text{ kg}$
Высота подъёма, m	$h = 0,6 \text{ m}$
Время подъёма, s	$t = 6 \text{ s}$
Тип крепления цилиндра	M2
Объёмный КПД насоса	$\eta_g = 0,95$
Гидромеханический КПД насоса	$\eta_{hm} = 0,85$
Скорость вращения электромотора, rpm	$v = 2000 \text{ rpm}$
КПД гидроцилиндра	$\eta_{hyd} = 0,85 \dots 0,95$
Интервал температур, °C	$+5^\circ\text{C} \dots +55^\circ\text{C}$
Геометрическая высота насоса, m	$l_k = 1,4 \text{ m}$

1. Выбор параметров цилиндра.

1.1 Сила тяжести груза:

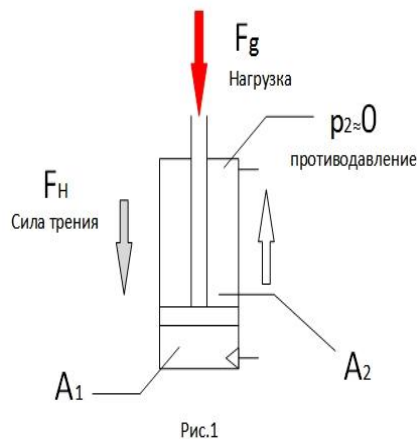
$$F_g = m \cdot g = 1400 \cdot 9.81 = 13734 \text{ N}$$

1.2 Выбор давления:

(Максимально 200 bar, обычно берется с 30% запасом)

Принимаем 140 bar

1.3 Силы действующие на цилиндр:



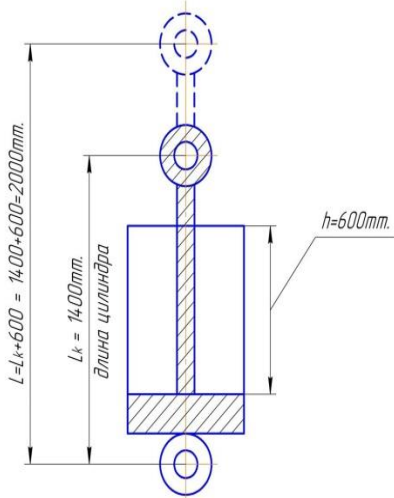
$$p_1 \cdot A_1 = F_g \cdot F_h$$
$$p_1 \cdot A_1 = \frac{F_g}{\eta_{hüd}} \Rightarrow$$
$$A_1 = \frac{F_g}{\eta_{hüd} \cdot p_1} \Rightarrow$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot F_g}{p_1 \cdot \eta_{hüd}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 13734}{\pi \cdot 140 \cdot 10^5 \cdot 0,85}} = 3,83 \cdot 10^{-2} m = 38,3 mm \approx 38 mm,$$

примем $\eta_{hüd} = 0,85$ - КПД гидроцилиндра

Выбираем ближайшее значение $d = 40 \text{ mm}$

1.4 Диаметр штока из условия устойчивости:



Диаметр штока выбираем сами по стандарту

$$d = 35 \text{ mm}$$

Ход поршня по данным проекта $h = 0,6 \text{ m}$

Длина цилиндра $l_k = 1400 \text{ mm}$

Расчетная длина

$$l = l_k + 600 = 1400 + 600 = 2000 \text{ mm}$$

Критическая сила Эйлера

$$F_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{(\mu \cdot l)^2 \cdot K}$$

$E = 200 \cdot 10^9 \text{ Pa}$ — модуль упругости стали

$I = 0.0491 \cdot d^4$ — момент инерции поперечного сечения штока

$K = 2.5 \div 3.5$ — коэффициент запаса

$\mu = 1$ — коэффициент, учитывающий условия закрепления.

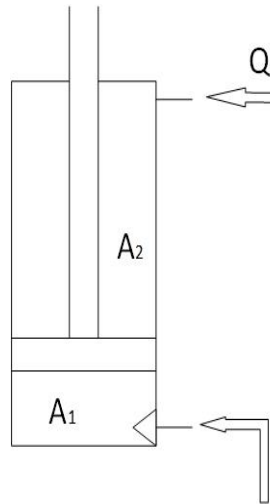
$$F_{kr} = \frac{\pi^2 \cdot 200 \cdot 10^9 \cdot 0.0491 \cdot 0.035^4}{2^2 \cdot 2.5} = 14529 \text{ N}$$

$$F_{kr} > F_g$$

Диаметр поршня — 40 mm

Диаметр штока — 35 mm

1.5 Расход жидкости в цилиндре:



$$V = \frac{h}{t} = \frac{0.6}{6} = 0.1 \text{ m/s} = 10 \text{ cm/s}$$

Расход цилиндра:

$$Q = V \cdot A_1 = 0,1 \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} = 1,256 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 125,6 \text{ cm}^3/\text{s}$$

Скорость цилиндра при опускании:

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot (D^2 - d^2)} = \frac{4 \cdot 1.256 \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot (0.04^2 - 0.035^2)} = 0,426 \text{ m/s} = 42,6 \text{ cm/s}$$

Скорость цилиндра при подъеме

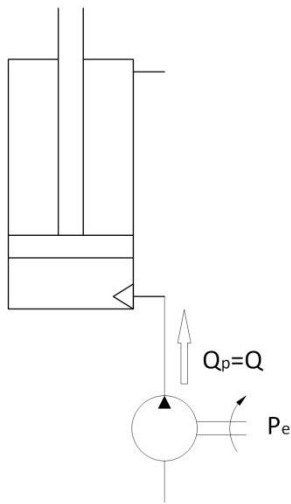
$$:V = \frac{Q}{A} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot (D^2)} = \frac{4 \cdot 1.256 \cdot 10^{-4}}{\pi \cdot (0.04^2)} = \dots \dots \text{ m/s} = \dots \text{ cm/s}$$

2. Предварительный выбор характеристик насоса и мощность электродвигателя

2.1 Расход насоса:

$$Q_p = Q = 1.256 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

2.2 Производительность насоса на 1 оборот



$$Q_p = q_p \cdot n \cdot \eta_g \Rightarrow$$

$$q_p = \frac{Q_p}{1500 \cdot \eta_q} = \frac{125.6 \cdot 60}{2000 \cdot 0.95} = 3.96 \text{ cm}^3/\text{об}$$

По каталогу выбираем насос $q_p = 4.3 \text{ см}^3/\text{об}$

Шестеренный насос W300, Производитель Haldex-Concentric

W300 шестеренные насосы



ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ

- ▶ Высочайшая надежность, основанная на многолетнем опыте проектирования и производства шестеренных насосов и моторов, в том числе для автомобильной промышленности.
- ▶ Специальная конструкция втулок скольжения и высокотемпературных полимерных уплотнений, позволяет обеспечить высочайшее давление до 260 бар.
- ▶ Корпус насосов производится из высокопрочного алюминиевого сплава. Передний и задний фланцы производятся из чугуна.
- ▶ Благодаря прецизионной обработке шестерен, насосы обладают безпрецедентно низким уровнем шума.
- ▶ Новый принцип гидростатической компенсации зазоров.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ [1]

МОДЕЛЬ НАСОСА		008	012	016	020	025	032	038	043	048	057
РАБОЧИЙ ОБЪЕМ	[см ³]	0.8	1.2	1.6	2.0	2.5	3.2	3.8	4.3	4.8	5.7
ДАВЛЕНИЕ (НОМИНАЛЬНОЕ)	[бар]	230	230	230	230	230	230	210	190	170	145
ДАВЛЕНИЕ (МАКСИМАЛЬНОЕ)	[бар]	255	255	255	255	255	255	230	210	187	160
СКОРОСТЬ (МАКСИМАЛЬНАЯ)	[об/мин]	6000	6000	6000	6000	5000	5000	4500	4500	4200	3800
СКОРОСТЬ (МИНИМАЛЬНАЯ)	[об/мин]	1200	1100	1100	1000	1000	1000	850	850	800	800
МАССА	[кг]	0.68	0.70	0.72	0.75	0.78	0.81	0.84	0.87	0.89	0.94

ОБЩИЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ДАВЛЕНИЕ ВСАСЫВАНИЯ (НОМИНАЛЬНОЕ)	[бар абс.]	-0.17
ДАВЛЕНИЕ ВСАСЫВАНИЯ (МАКСИМАЛЬНОЕ)	[бар абс.]	2
ВЯЗКОСТЬ МАСЛА (РЕКОМЕНДУЕМАЯ)	[сСт]	12 ~ 800
ВЯЗКОСТЬ МАСЛА (МИНИМАЛЬНАЯ)	[сСт]	8
ВЯЗКОСТЬ МАСЛА (МАКСИМАЛЬНАЯ)	[сСт]	2000
ТЕМПЕРАТУРА МАСЛА (МИН. И МАКС.)	[°C]	-25 ~ +90
ФИЛЬТРАЦИЯ МАСЛА (КЛАСС ЧАСТОТЫ ISO 4068)		-/18/14

КОД ОБОЗНАЧЕНИЯ И РАШИФРОВКА

WP	03	B	1	B	008	R	0	20	MA	124	N	
					1	2		3	4	5		
КОД						ТИПОРАЗМЕР НАСОСА						1
008						Смотрите коды в таблице [1]						
КОД						НАПРАВЛЕНИЕ ВРАЩЕНИЯ						2
R						Правое, по часовой (CW)						
L						Левое, против часовой (CCW)						
КОД						ПРИСОЕДИНИТЕЛЬНЫЙ ФЛАНЕЦ						3
20						Смотрите коды в габаритных размерах [2]						

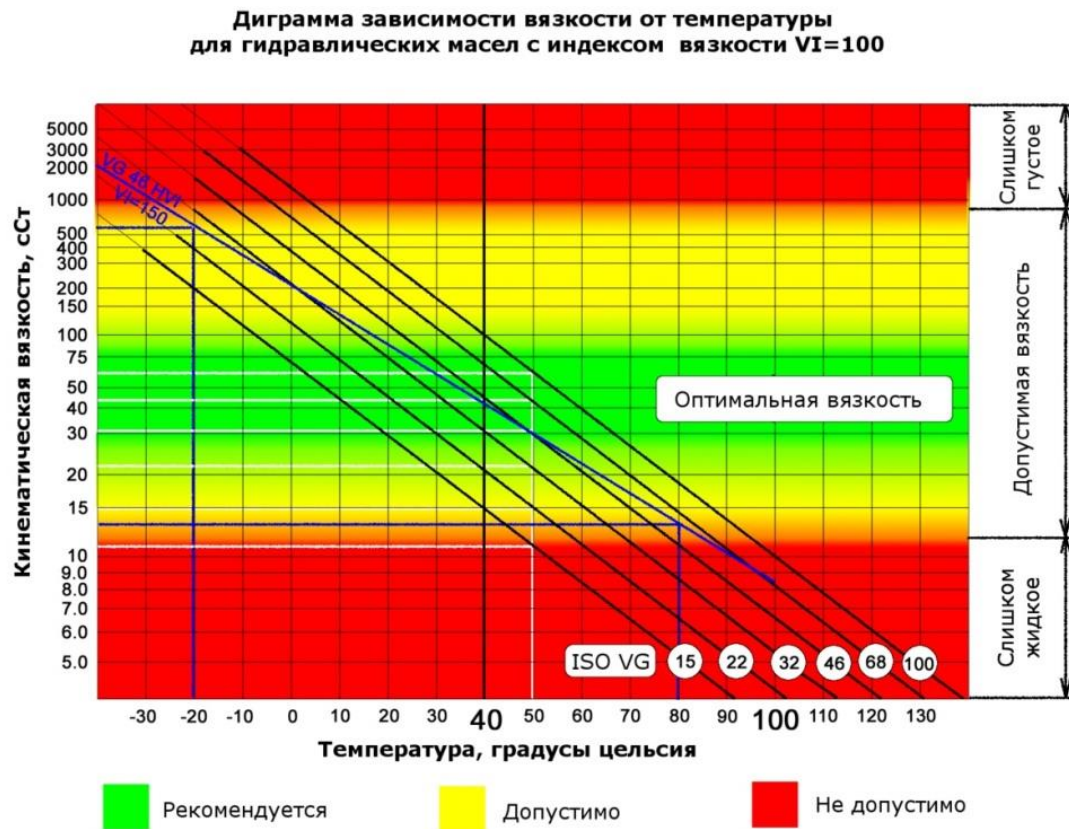
КОД		ТИП ПРИВОДНОГО ВАЛА		4
MA		Смотрите коды в габаритных размерах [2]		
КОД		РАЗМЕРЫ ОСНОВНЫХ ПОРТОВ		5
124		Подача и всас., резьба G3/8 BSPP		
166		Подача M14x1.5, всасывание M18x1.5		

Пересчитаем расход насоса для выбранной модели :

$$Q_p = q_p \cdot n \cdot \eta_g = \frac{4,3 \cdot 2000 \cdot 0,95}{60} = 136,2 \text{ cm}^3/\text{s}$$

3. Выбор гидравлической жидкости.

Диапазон оптимального смазывания $20 \text{ mm}^2/\text{s} \dots 100 \text{ mm}^2/\text{s}$ -
кинематическая вязкость (из диаграммы)



ISO VG32 при температуре $+55^{\circ}\text{C}$ - $18 \text{ mm}^2/\text{s}$
 при температуре $+5^{\circ}\text{C}$ - $250 \text{ mm}^2/\text{s}$

4. Выбор трубопроводов.

Оптимальные скорости:

Нагнетательная линия:

давление до 50 bar, $v = 4 \text{ m/s}$

давление до 100 bar, $v=4,5 \text{ m/s}$

давление до 150 bar, $v=5,0 \text{ m/s}$

давление до 200 bar, $v=5,5 \text{ m/s}$

давление до 300 bar, $v=6 \text{ m/s}$

Обратная линия :

$v = 2 \text{ m/s}$

Всасывающая линия:

$v = 0,8 \dots 1,2 \text{ m/s}$

4.1 Диаметр (внутренний) трубы нагнетательной линии:

$$d_H = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v_H}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,362 \cdot 10^{-4}}{3,14 \cdot 4,5}} = 6,2 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 6,2 \text{ mm}$$

Диаметр трубы увеличим, чтобы снизить давление и потери. Берем по стандарту $d = 8 \text{ mm}$.

4.2 Диаметр трубы в обратной линии:

$$d_o = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v_o}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,362 \cdot 10^{-4}}{3,14 \cdot 2}} = 9,3 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 9,3 \text{ mm}$$

$d_o = 10 \text{ mm}$ – из стандартной серии

4.3 Диаметр трубы всасывающей линии:

$$d_B = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot v_B}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,362 \cdot 10^{-4}}{3,14 \cdot 1}} = 1,32 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 13,2 \text{ mm}$$

$d_B = 14 \text{ mm}$ – из стандартной серии

4.4 Действительная скорость движения жидкости:

$$V_H = \frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot d_H^2} = \frac{1,362 \cdot 10^{-4} \cdot 4}{\pi \cdot 0,008^2} = 2,7 \text{ m/s}$$

$$V_o = \frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot d_o^2} = \frac{1,362 \cdot 10^{-4} \cdot 4}{\pi \cdot 0,01^2} = 1,7 \text{ m/s}$$

$$V_B = \frac{Q \cdot 4}{\pi \cdot d_B^2} = \frac{1,362 \cdot 10^{-4} \cdot 4}{\pi \cdot 0,014^2} = 0,9 \text{ m/s}$$

4.5 Толщина стенки трубопровода

PR V1 (M)

Прецизионная стальная труба, метрическая, 1.4301

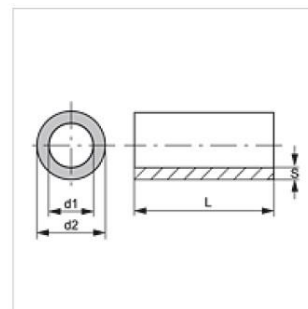
HANSA FLEX

Свойства

Модель Прецизионная стальная труба, метрическая

Материал нержавеющая сталь 1.4301

Длина трубы 6 метров



Изделие

Наименование	Ø d2 (mm)	Допуск Дн +/- (mm)	Ø d1 (mm)	Допуск Дв +/- (mm)	S (mm)	Вариант нагрузки I (bar)	Вариант нагрузки III (bar)
PR 10-1 V1	10,0	0,08	8,0	0,15	1,00	223	166
PR 12-1 V1	12,0	0,08	10,0	0,15	1,00	186	140
PR 16-1 V1	16,0	0,08	14,0	0,08	1,00	152	115

По каталогу 1mm (для 152 ... 223 bar)

5. Потери давления.

5.1

$$P_1 \cdot A_1 = F_g + F_h$$

$$P_1 \cdot A_1 = \frac{F_g}{\eta_{hm}}$$

$$P_1 = \frac{F_g \cdot 4}{\pi \cdot D^2 \cdot \eta_{hm}}$$

$$P_1 = \frac{13734 \cdot 4}{\pi \cdot 0.04^2 \cdot 0.85} = 128.6 \cdot 10^5 = 128 \text{ bar}$$

Потери: $p_p = p_1 + \Delta p$

$$\Delta p = \frac{\lambda \cdot \rho \cdot l \cdot V^2}{2d}$$

5.1 Потери давления по длине нагнетательной линии
Вязкость необходимо брать самую высокую при минимальной температуре

$$Re_{50} = \frac{V_H \cdot d_H}{v_{50}} = \frac{2,7 \cdot 0.008}{250 \cdot 10^{-6}} = 86,4 \text{ - ламинарное движение}$$

$$Re_{550} = \frac{V_H \cdot d_H}{v_{550}} = \frac{2,7 \cdot 0.008}{18 \cdot 10^{-6}} = 1200 \text{ - ламинарное движение}$$

$$\lambda_{50} = \frac{64}{Re_{50}} = \frac{64}{86,4} = 0,74$$

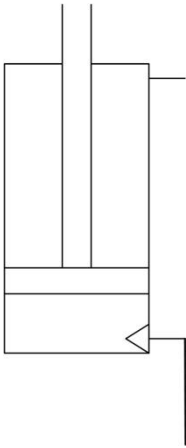
$$\lambda_{550} = \frac{64}{Re_{550}} = \frac{64}{1200} = 0,05$$

Плотность масла VG32 - $\rho = 873 \text{ kg/m}^3$

$$\Delta p_{H50} = 0.74 \cdot \frac{873 \cdot 1 \cdot 2,7^2}{2 \cdot 0.008} = 294342 \text{ Pa} = 2,9 \text{ bar}$$

$$\Delta p_{H550} = 0.05 \cdot \frac{873 \cdot 1 \cdot 2,7^2}{2 \cdot 0.008} = 19888 \text{ Pa} = 0,2 \text{ bar}$$

5.2 Потери давления в обратной трубе (для холодного запуска)
при $t=5^\circ$



$$Re_{5^\circ} = \frac{V_o \cdot d_o}{v_{5^\circ}} = \frac{1.7 \cdot 0.01}{250 \cdot 10^{-6}} = 68 \quad \text{- ламинарное движение}$$

$$\lambda_{10^\circ} = \frac{64}{Re} = \frac{64}{68} = 0.94$$

$$\Delta p_{o5^\circ} = \frac{0.94 \cdot 873 \cdot 1 \cdot 1.7^2}{2 \cdot 0.01} = 118579 Pa = 1,2 \text{ bar}$$

$$\Delta p_1 = 128 \text{ bar}$$

$$\Delta p_{5^\circ} = 1.2 \text{ bar/m}$$

$$\Delta p_{55^\circ} = 0.2 \text{ bar/m}$$

Допускается перепад в 10%

6. Выбор мощности электродвигателя

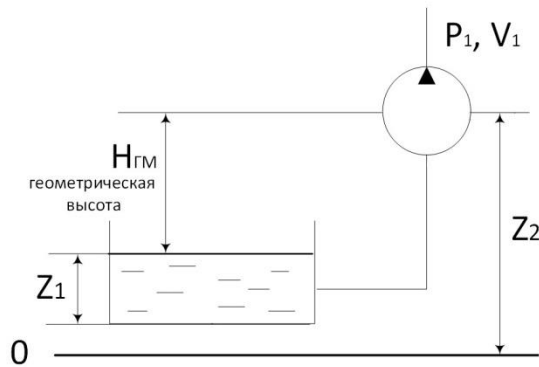
Выбираем длину линии $4m$

$$p_p = p_l + \Delta p \cdot 4 = 128 + 1.2 \cdot 4 = 132,8 \text{ bar}$$

$$P_e = \frac{g_n \cdot n \cdot p_p}{\eta_g \cdot \eta_{hm}} = \frac{4,3 \cdot 10^{-6} \cdot 2000 \cdot 132,8 \cdot 10^5}{60 \cdot 0.95 \cdot 0.85} = 2357,2 \text{ W} = 2,3 \text{ kW}$$

$\approx 3 \text{ kW}$

7. Кавитационный запас насоса.



Уравнение Бернулли для напора

$$\frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + z_1 = \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + z_2 + \Delta h_{1-2}$$

$$V_1 \approx 0$$

p_1 – атмосферное давление ($101325 \text{ Pa} \approx 10^5 \text{ Pa}$)

$$\frac{p_1}{\rho \cdot g} - H_{гм} - \Delta h_{1-2} = \frac{\alpha_2 \cdot V_B^2}{2g} + \frac{p_2}{\rho \cdot g}$$

7.1 Потери давления всасывающей трубы

$$\Delta h = \lambda \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{V_B^2}{2g}$$

$$Re_{55^\circ} = \frac{V_B \cdot d_B}{\nu_{55^\circ}} = \frac{0.9 \cdot 0.014}{18 \cdot 10^{-6}} = 700 \text{ - ламинарный режим}$$

$$\lambda_{55^\circ} = \frac{64}{Re} = \frac{64}{700} = 0.09$$

$$\Delta h_{55^\circ} = \lambda_{55^\circ} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{V_B^2}{2g} = 0.09 \cdot \frac{1.4 \cdot 0.9^2}{0.014 \cdot 2 \cdot 9.81} = 0.37 \text{ m}$$

За длину примем геометрическую высоту $H_{гм}$

7.2 Напор в насосе $\frac{p_2}{\rho \cdot g}$

$$\begin{aligned} \frac{p_1}{\rho \cdot g} - H_{\text{ГМ}} - \Delta h_{1-2} - \frac{\alpha_2 \cdot V_{\text{Б}}^2}{2g} &= \frac{p_2}{\rho \cdot g} \\ &= \frac{10^5}{873 \cdot 9,81} - 1,4 - 0,37 - \frac{0,9^2 \cdot 2}{2 \cdot 9,81} = 9,82 \text{ m} \end{aligned}$$

7.3 Максимальный полный напор в насосе

Принимаем $p_v p_5 = 0.02 \text{ bar}$, $p_v p_{55} = 0.2 \text{ bar}$

$$\begin{aligned} NPSHA &= \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha_2 \cdot V_{\text{Б}}^2}{2g} - \frac{p_v \cdot p}{\rho \cdot g} = 9,82 + \frac{2 \cdot 0,9^2}{2 \cdot 9,81} - \frac{0,2 \cdot 10^5}{873 \cdot 9,81} \\ &= 7,57 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} NPSHA &= \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha_2 \cdot V_{\text{Б}}^2}{2g} - \frac{p_v \cdot p}{\rho \cdot g} = 9,82 + \frac{2 \cdot 0,9^2}{2 \cdot 9,81} - \frac{0,02 \cdot 10^5}{873 \cdot 9,81} \\ &= 9,67 \text{ m} \end{aligned}$$

NPSHA необходимо сравнить с заводом изготовителем насоса

8. Выбор клапанов

Расход системы при выбранном насосе W300-043:

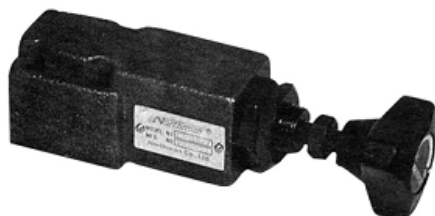
$$Q_p = q_p \cdot n \cdot \eta_g = 4,3 \cdot 2000 \cdot 0,95 = 8170 \text{ cm}^3/\text{min} = 8,2 \text{ l/min}$$

Клапана выбираем с расчетом, что оптимальный режим работы находится в диапазоне 20%...80% их пропускной способности.

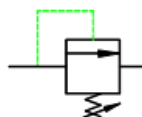
Предохранительный клапан:



PRESSURE CONTROLS DIRECT TYPE RELIEF VALVE



SYMBOL



SPECIFICATIONS

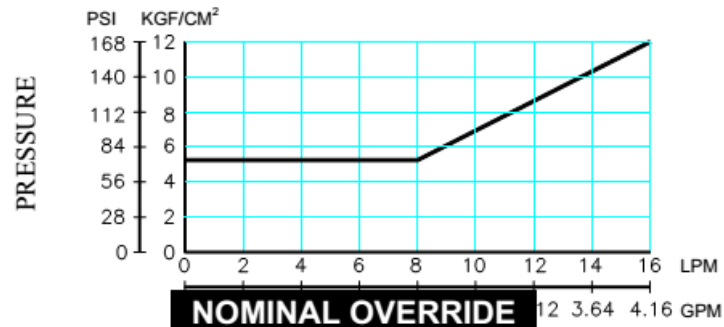
MODEL	MAX. PRESSURE KGF/CM ² (PSI)	PRESSURE ADJ. RANGE KGF/CM ² (PSI)	RATE FLOW LPM(GPM)	BOLT METER(INCH)
RF-G02	210(3000)	1: 7-70(100-1000)	16(4.2)	M5x40L 4 PCS (#10-24UNC-1 1/2")
		2: 35-140(500-2000)		
		3: 70-210(1000-3000)		

PERFORMANCE CURVES

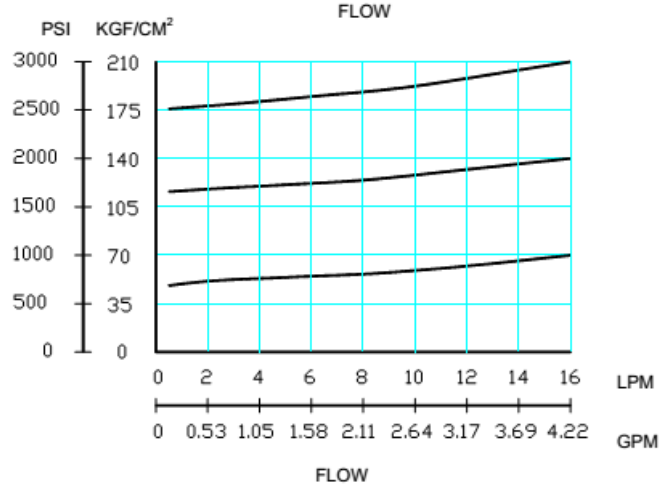
TEST FLUID VISCOSITY : 35 cSt (175 SSU)

TEST TEMPERATURE : 50°C (122°F)

Min. Adj. PRESSURE



NOMINAL OVERRIDE



Распределительный клапан:

Electric Drives
and Controls

Hydraulics

Linear Motion and
Assembly Technologies

Pneumatics

Service

Rexroth
Bosch Group

2/2, 3/2 and 4/2 directional seat valve with solenoid actuation

RE 22049/07.09
Replaces: 07.06

1/14

Type M-.SED

Size 6
Component series 1X
Maximum operating pressure 350 bar [5100 psi]
Maximum flow 25 l/min [6.6 gpm]



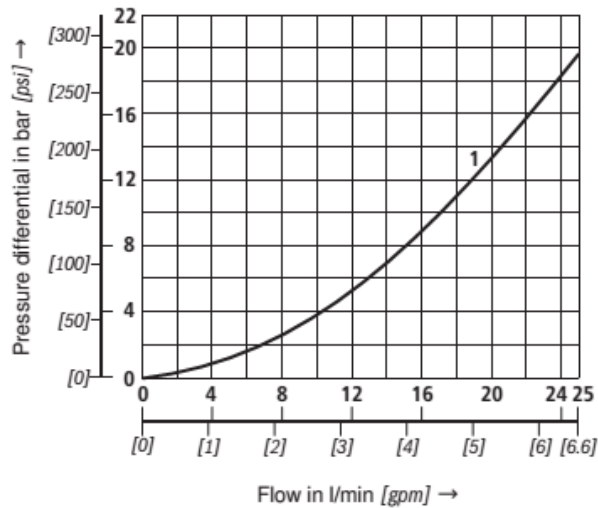
H4243

hydraulic

Maximum operating pressure	bar [psi]	See performance limit page 8
Maximum flow	l/min [gpm]	25 [6.6]
Hydraulic fluid		Mineral oil (HL, HLP) according to DIN 51524 ¹⁾ ; fast biodegradable hydraulic fluids according to VDMA 24568 (see also RE 90221); HETG (rape seed oil) ¹⁾ ; HEPG (polyglycols) ²⁾ ; HEES (synthetic esters) ²⁾ ; other hydraulic fluids upon request
Hydraulic fluid temperature range	°C [°F]	–30 to +80 [–22 to +176] (NBR seals) –20 to +80 [–4 to +176] (FKM seals)
Viscosity range	mm ² /s [cSt]	2.8 to 500 [35 to 2320]
Maximum permitted degree of contamination of the hydraulic fluid - cleanliness class according to ISO 4406 (c)		Class 20/18/15 ³⁾

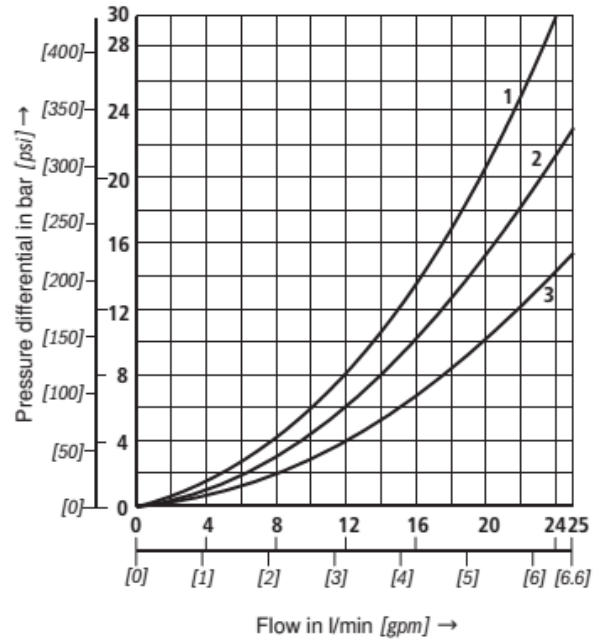
Characteristic curves (measured with HLP46, $\vartheta_{Oil} = 40 \pm 5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ [$104 \pm 9 \text{ }^{\circ}\text{F}$])

Δp - q_v characteristic curves
2/2 and 3/2 directional seat valve



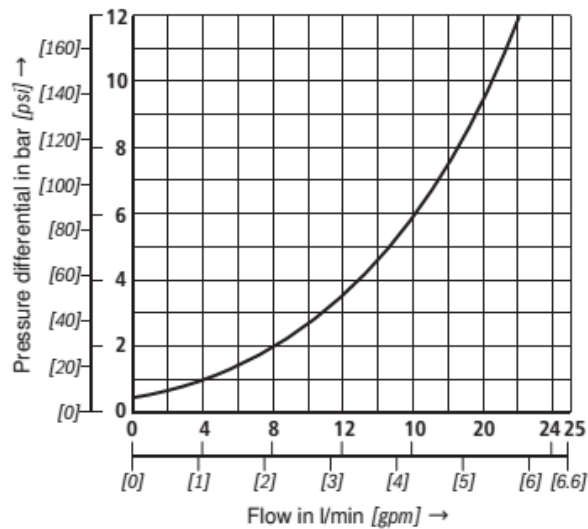
- 1 M-2SED 6 **PK** ..., P to A
NK
- 1 M-3SED 6 **UK** ..., P to A and A to T
CK

Δp - q_v characteristic curves
4/2 directional seat valve



- 1 M-4SED 6 **D** ..., A to T
Y
- 2 M-4SED 6 **D** ..., P to A
Y
- 3 M-4SED 6 **D** ..., B to T and P to B
Y

Δp - q_v characteristic curves
Check valve insert



Δp - q_v characteristic curves
Throttle insert

