

Шерстобитов Юрий Антонович, Студент,  
Санкт-Петербургский Горный Университет императрицы Екатерины II  
Sherstobitov Yuri Antonovich  
St. Petersburg Mining University of Empress Catherine II

**РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ ДЛЯ МЕХАНИЗМА ПОВОРОТА  
БАШНИ СТРЕЛОВОГО САМОХОДНОГО КРАНА  
CALCULATION OF PIPELINES FOR THE TOWER ROTATION  
MECHANISM OF A SELF-PROPELLED BOOM CRANE**

**Аннотация.** В данной статье производится расчет трубопроводов для проектирования гидропривода механизма поворота башни стрелового самоходного крана.

**Abstract.** This article provides an example for designing a hydraulic drive mechanism for turning the tower of a self-propelled boom crane.

**Ключевые слова:** Трубопровод, критерий Рейнольдса, механизм поворота башни, насос.

**Keywords:** Pipeline, Reynolds criterion, tower rotation mechanism, pump.

На рисунке 1 представлена исходная схема механизма поворота:

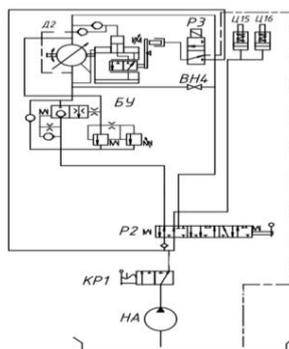


Рисунок 1 – Схема механизма поворота

На рисунке 2 представлена ориентировочная схема гидропривода:

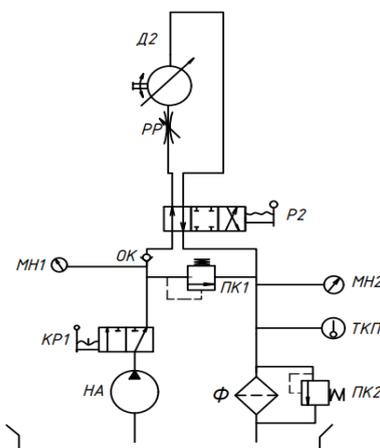


Рисунок 2 – Ориентировочная схема механизма поворота



(НА – нерегулируемый насос; КР1 – крановый распределитель; ПК1 – предохранительный клапан на линии нагнетания; Р2 – золотниковый распределитель; РР – регулятор расхода; Д2 – гидромотор регулируемый, обратимый; МН1 и МН2 – манометры; ТКП – термометр)

Задаются ориентировочные значения максимальных скоростей течения жидкости в гидролиниях (поскольку давление находится в диапазоне  $1,5 \div 50$  МПа) [2]:

- всасывающей – 1,2 м/с;
- сливной – 2 м/с;
- нагнетательной – 4 м/с.

Определяем диаметр трубопровода и уточняем полученное значение по ГОСТ 16516-80 (СТ СЭВ 522-77) [3].

Ориентировочный диаметр всасывающего трубопровода:

$$D_{вс}^* = 2 \sqrt{\frac{Q_M}{\pi v_{вс}}}; \quad (1)$$
$$D_{вс}^* = 2 \sqrt{\frac{0,0095}{3,14 \cdot 1,2}} = 0,1 \text{ м} = 100 \text{ мм}.$$

Ориентировочный диаметр нагнетательного трубопровода:

$$D_{наг}^* = 2 \sqrt{\frac{Q_M}{\pi v_{наг}}}; \quad (2)$$
$$D_{наг}^* = 2 \sqrt{\frac{0,0095}{3,14 \cdot 4}} = 0,055 \text{ м} = 55 \text{ мм}.$$

Ориентировочный диаметр сливного трубопровода:

$$D_{сл}^* = 2 \sqrt{\frac{Q_M}{\pi v_{сл}}}; \quad (3)$$
$$D_{сл}^* = 2 \sqrt{\frac{0,0095}{3,14 \cdot 2}} = 0,078 \text{ м} = 78 \text{ мм}.$$

Используем нормализованный ряд условных проходов труб, принимаем  $D_{вс} = 100$  мм,  $D_{наг} = 65$  мм,  $D_{сл} = 80$  мм.

Фактическая скорость во всасывающем трубопроводе:

$$v_{вс} = \frac{4Q_M}{\pi D_{вс}^2}; \quad (4)$$
$$v_{вс} = \frac{4 \cdot 0,0095}{3,14 \cdot 0,1^2} = 1,21 \text{ м/с}.$$

Фактическая скорость в нагнетательном трубопроводе:

$$v_{наг} = \frac{4Q_M}{\pi D_{наг}^2}; \quad (5)$$
$$v_{наг} = \frac{4 \cdot 0,0095}{3,14 \cdot 0,065^2} = 2,86 \text{ м/с}.$$

Фактическая скорость в сливной трубопроводе:

$$v_{сл} = \frac{4Q_M}{\pi D_{сл}^2}; \quad (6)$$



$$v_{сл} = \frac{4 \cdot 0,0095}{3,14 \cdot 0,08^2} = 1,89 \text{ м/с.}$$

В гидролиниях рабочей жидкостью будет выступать минеральное гидравлическое масло Hydraulicoil HLP 46, которое имеет плотность

$$\rho = 860 \text{ кг/м}^3 \text{ и вязкость } \nu = 46 \text{ мм}^2/\text{с} [1].$$

Критерии Рейнольдса во всасывающем, нагнетательном и сливном трубопроводе:

$$Re_{вс} = \frac{D_{вс} v_{вс}}{\nu} = \frac{0,1 \cdot 1,21}{0,000046} = 2630;$$

$$Re_{наг} = \frac{D_{наг} v_{наг}}{\nu} = \frac{0,065 \cdot 4}{0,000046} = 5652;$$

$$Re_{сл} = \frac{D_{сл} v_{сл}}{\nu} = \frac{0,08 \cdot 2}{0,000046} = 3478.$$

Отнесем поток во всасывающей линии к ламинарному режиму, а поток в линии нагнетания и слива – к турбулентному режиму, значит коэффициент гидравлического трения в линиях:

$$\lambda_{вс} = \frac{64}{Re_{вс}} = \frac{64}{2630} = 0,025;$$

$$\lambda_{наг} = \frac{0,3164}{Re_{наг}^{0,25}} = \frac{0,3164}{5652^{0,25}} = 0,037;$$

$$\lambda_{сл} = \frac{0,3164}{Re_{сл}^{0,25}} = \frac{0,3164}{3478^{0,25}} = 0,04.$$

Потери давления в трубопроводах вычисляются по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$\Delta p_{вс} = \lambda_{вс} \frac{l_{вс}}{D_{вс}} \rho \frac{v_{вс}^2}{2} = 0,025 \cdot \frac{0,45}{0,1} \cdot 860 \cdot \frac{1,21^2}{2} = 71 \cdot 10^{-6} \text{ МПа};$$

$$\Delta p_{наг} = \lambda_{наг} \frac{l_{наг}}{D_{наг}} \rho \frac{v_{наг}^2}{2} = 0,037 \cdot \frac{14}{0,065} \cdot 860 \cdot \frac{2,86^2}{2} = 0,028 \text{ МПа};$$

$$\Delta p_{сл} = \lambda_{сл} \frac{l_{сл}}{D_{сл}} \rho \frac{v_{сл}^2}{2} = 0,04 \cdot \frac{16}{0,08} \cdot 860 \cdot \frac{1,89^2}{2} = 0,0123 \text{ МПа}.$$

Зная давление жидкости на входе в гидродвигатель при средней и максимальной нагрузке и потери давления во всех последовательно с ним установленных элементах, находят давление на выходе из насоса:

$$p_{н.ном} = p_m + \Delta p_{\phi} + \Delta P_{нк2} + \Delta P_{нк1} + \Delta P_{зол} + \Delta p_{ок} + \Delta P_{кр} + \Delta p_{pp} + \Delta p_{вс} + \Delta p_{наг} + \Delta p_{сл} = 26,5 + 0,098 + 0,158 + 0,08 + 0,1185 + 0,0625 + 0,0048 + 0,096 + 71 \cdot 10^{-6} + 0,028 + 0,01230 = 27,16 \text{ МПа};$$

$$p_{н.мах} = p_{м.мах} + \Delta p_{\phi} + \Delta P_{нк2} + \Delta P_{нк1} + \Delta P_{зол} + \Delta p_{ок} + \Delta P_{кр} + \Delta p_{pp} + \Delta p_{вс} + \Delta p_{наг} + \Delta p_{сл} = 32,7 + 0,098 + 0,158 + 0,08 + 0,1185 + 0,0625 + 0,0048 + 0,096 + 71 \cdot 10^{-6} + 0,028 + 0,0123 = 33,36 \text{ МПа}.$$

Аналогично рассчитывается требуемая подача насоса:

$$Q_n = Q_m + \Delta Q_{зол} + \Delta Q_{ок} + \Delta Q_{кр} + \Delta Q_{pp} = 9,5 + 0,2 + 0,00625 + 0 + 0,1 = 9,8 \frac{\text{л}}{\text{мин}} = 0,000163 \text{ м}^3/\text{с};$$

$$Q_{н.мах} = Q_{м.мах} + \Delta Q_{зол} + \Delta Q_{ок} + \Delta Q_{кр} + \Delta Q_{pp} = 11 + 0,2 + 0,00625 + 0 + 0,1 = 11,3 \frac{\text{л}}{\text{мин}} = 0,000188 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Из каталога выбираем нерегулируемы насос, наиболее подходящий для гидросистемы. Рассмотрим пригодность различных насосов к расчётным условиям [4]:



Таблица 1

Выбранные марки насосов, их угловые скорости и подачи.

Тип насоса	$p_n^k$ , МПа	$Q_n^k$ , л/мин	$\frac{(p_n \cdot Q_n)_{расч}}{p_n^k \cdot Q_n^k}$
ВНР-32/20М	32	40	$\frac{27,16 \cdot 9,8}{32 \cdot 40} = 0,21$
Н401УР (Е)	32	17	$\frac{27,16 \cdot 9,8}{32 \cdot 17} = 0,49$
50НРР14	50	18,5	$\frac{27,16 \cdot 9,8}{50 \cdot 18,5} = 0,3$

Сравнение выбранных типов насосов показывает, что по условиям загрузки наиболее подходит нерегулируемый гидронасос 50НРР14, параметры которого следующие:

- Номинальный расход:  $Q_{н.ном}^k = 18,5 \frac{л}{мин} = 0,0003 \frac{м^3}{с}$ ;
- Номинальное давление:  $p_{н.ном}^k = 50 \text{ МПа}$ ;
- Рабочий объем насоса:  $q_n^k = 14 \frac{см^3}{об} = 0,000014 \frac{м^3}{об}$ ;
- Номинальная частота вращения:  $n_n^k = 1500 \frac{об}{мин}$  или  $\omega_n^k = 157 \frac{рад}{с}$ ;
- Объемный КПД:  $\eta_{но}^k = 0,9$ ;
- Полный КПД насоса:  $\eta_n^k = 0,9$ .

Фактический объемный КПД:

$$\eta_{но} = \left( 1 + (1 - \eta_{но}^k) \frac{q_n^k \omega_n^k p_{н.ном}^k}{2\pi Q_n^k p_{н.ном}^k} \right)^{-1}; \quad (7)$$

$$\eta_{но} = \left( 1 + (1 - 0,9) \frac{0,000014 \cdot 157 \cdot 27,16}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,000163 \cdot 50} \right)^{-1} = 0,89.$$

Коэффициент регулирования при известной подаче насоса:

$$\varepsilon_n = \frac{2\pi Q_n}{q^k \omega_n^k \eta_{но}^k}; \quad (8)$$

$$\varepsilon_n = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 0,000163}{0,000014 \cdot 157 \cdot 0,89} = 0,52$$

Пренебрегая изменениям гидромеханического КПД насоса в результате несоответствия давления и частоты вращения их номинальным значениям по технической характеристике и скорректировав полный КПД в соответствии с уточненным значением объемного КПД по формуле:

$$\eta_n = \eta_n^k \cdot \frac{\eta_{но}}{\eta_{но}^k}; \quad (9)$$

$$\eta_n = 0,9 \cdot \frac{0,89}{0,9} = 0,89.$$

Мощность на валу насоса:

$$N_{вн} = \frac{Q_n \cdot p_n}{\eta_n}; \quad (10)$$



$$N_{вн} = \frac{0,000163 \cdot 27,16 \cdot 10^6}{0,89} = 4974 \text{ Вт} = 4,974 \text{ кВт}.$$

Из каталога подбираем асинхронный электродвигатель 4A132S4У3, который имеет следующие характеристики:

- Полезная мощность:  $N_9^k = 7,5 \text{ кВт};$
- Рабочие скольжение:  $s^k = 2,9\%;$
- Критическое скольжение:  $s_{кр}^k = 19,5\%;$
- Момент инерции:  $J_9^k = 0,028 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$
- Отношение моментов:  $\frac{M_9^k}{M_3^k} = 3.$

Скольжение при средней нагрузке будет:

$$s = 0,5 - \sqrt{0,25 - \frac{N_{вн}}{N_9^k} s^k (1 - s^k)}; \quad (11)$$

$$s = 0,5 - \sqrt{0,25 - \frac{4974}{7500} \cdot 0,029 \cdot (1 - 0,029)} = 0,02.$$

Угловая скорость насоса при средней нагрузке:

$$\omega_n = \omega_n^k (1 - s); \quad (12)$$

$$\omega_n = 157 \cdot (1 - 0,02) = 153,86 \text{ рад/с}.$$

Момент на валу насоса:

$$M_n = \frac{N_{вн}}{\omega_n}; \quad (13)$$

$$M_n = \frac{4974}{153,86} = 32,33 \text{ Нм}.$$

Каталожный расход насоса:

$$Q_n^k = \frac{q^k \omega_n}{2\pi} \eta_{но}^k; \quad (14)$$

$$Q_n^k = \frac{0,000014 \cdot 153,86}{2 \cdot 3,14} \cdot 0,9 = 0,00031 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 18,6 \text{ л/мин}.$$

Теоретический расход насоса:

$$Q_n^m = \frac{q^k \omega_n}{2\pi}; \quad (15)$$

$$Q_n^m = \frac{0,000014 \cdot 153,86}{2 \cdot 3,14} = 0,000343 \frac{\text{м}^3}{\text{с}} = 20,58 \text{ л/мин}.$$

Ёмкость бака определяют по 3-х минутной производительности насоса:

$$W_{б,расч} = 3Q_n^m; \quad (16)$$

$$W_{б,расч} = 3 \cdot 20,58 = 61,74 \text{ л}$$

Объем бака выбирается из ряда номинальной вместимости бака, наиболее подходящий бак объемом 63 литра [5].

*Список литературы:*

1. Hydraulicöl HLP 46 [Электронный ресурс] // Liquimoly. URL: <https://liquimoly.ru> (Дата обращения: 17.05.2023).

2. ГИДРО-И ПНЕВМОПРИВОД. Гидропривод: Методические указания к курсовой работе / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: П.В. Шишкин, П.Н. Махараткин, И.С. Труфанова. СПб, 2018. 32 с.



3. ГОСТ 16516-80 (СТ СЭВ 522-77). ГИДРОПРИВОДЫ ОБЪЕМНЫЕ, ПНЕВМОПРИВОДЫ И СМАЗОЧНЫЕ СИСТЕМЫ. Условные проходы. Межгосударственный стандарт: дата введения 01.07.80 / Министерство станкостроительной и инструментальной промышленности – Изд. официальное. – Москва: Стандартинформ, 2009 г. – 4 с.

4. Мир Гидравлики [Электронный ресурс] // The world of hydraulics 2023. URL: <http://mirgidravliki.ru> (Дата обращения: 17.05.2023).

5. ГОСТ 12448-80 (СТ СЭВ 524-77). ГИДРОПРИВОДЫ ОБЪЕМНЫЕ, ПНЕВМОПРИВОДЫ И СМАЗОЧНЫЕ СИСТЕМЫ. Номинальные вместимости. Государственный стандарт Союза ССР: дата введения 01.07.80 / Постановлением государственного комитета СССР по стандартам – Изд. официальное. – Москва, 1981 г. – 3 с.

