УДК 62-522.2 DOI: 10.18324/2077-5415-2018-1-18-21

Метод расчета дроссельного устройства разогрева рабочей жидкости гидросистемы

А.М. Альмохаммад[a], Е.А. Сорокин[b], Н.П. Куликова[c]

Сибирский федеральный университет, ул. Киренского 26а, Красноярск, Россия
[a]mr.omar10@mail.ru, [b]esorokin@sfu-kras.ru, [c]anta_nastya@mail.ru
[a]https://orcid.org/0000-0003-3454-3751, [b]https://orcid.org/0000-0002-5444-821X,
[c]https://orcid.org/0000-0002-0681-7957
Статья поступила 21.12.2017, принята 16.01.2018

Объективная необходимость предпускового подогрева рабочей жидкости гидропривода мобильных машин, эксплуатирующихся в суровых климатических условиях, когда температура окружающей среды достигает –50 °С, послужила основанием для разработки системы регулирования температуры рабочей жидкости, которая позволит ускорить процесс выхода гидросистемы на необходимый температурный режим. В данной статье рассматривается предложенная авторами конструктивная схема дроссельного устройства разогрева рабочей жидкости в гидросистеме, автоматически включающегося в работу в предпусковой период. Конструкция состоит из корпуса; дросселя разогрева с регулировочным винтом; запорного управляемого золотника, жестко связанного с поршнем; пружины; регулировочного винта; капиллярной трубки; выносного теплоприемника, заполненного термометрическим веществом и изготовленного из материала с низким коэффициентом теплового расширения, и направляющей втулки. Для исключения влияния давления рабочей жидкости на запорный управляемый золотник со стороны пружины просверлен канал, соединяющий пружинную и сливную полости. Устройство обеспечивает повышение эффективности привода, сокращает время разогрева рабочей жидкости в гидросистеме при отрицательной температуре. Разработана методика расчета параметров дроссельного устройства разогрева рабочей жидкости гидросистемы в предпусковой период с учетом изменения объема термометрического вещества при изменении температуры рабочей жидкости гидросистемы. Расчетные модели могут быть использованы разработчиками на стадии проектирования гидравлических приводов.

Ключевые слова: дроссельное устройство; работоспособность гидросистем; рабочая жидкость; гидропривод; термометрическое вещество; температура.

Method for calculating the throttle device for heating the working fluid of the hydraulic system

A.M. Almohammad[a], E.A. Sorokin[b], N.P. Kulikova[c]

Siberian Federal University; 26a, Kirensky St., Krasnoyarsk, Russia
[a]mr.omar10@mail.ru, [b]esorokin@sfu-kras.ru, [c]anta_nastya@mail.ru
[a]https://orcid.org/0000-0003-3454-3751, [b]https://orcid.org/0000-0002-5444-821X,
[c]https://orcid.org/0000-0002-0681-7957
Received 21.01.2017, accepted 16.01.2018

The objective necessity of preheating the working fluid of the hydraulic drive of mobile machines operating in severe climatic conditions, when the ambient temperature reaches -50 °C, served as the basis for the development of a system for controlling the temperature of the working fluid, which would speed up the process of the hydraulic system outlet to the required temperature regime. The paper considers the constructional scheme of the throttle device for heating the working fluid in the hydraulic system, which is automatically included in the work during the pre-start period. The structure consists of a body, a throttling heater with an adjusting screw, a locking controlled spool, rigidly connected to the piston, a spring, an adjusting screw, a capillary tube, an external heat receiver filled with a thermometric substance and made of a material with a low coefficient of thermal expansion and a guide bushing. To exclude the effect of pressure of the working fluid on the shut-off controlled spool on the side of the spring, a channel, which connects the spring cavity with the drain, has been drilled. The device provides increased drive efficiency, shortens the warm-up time of the hydraulic fluid in the hydraulic system at a low temperature. The technique for calculating the parameters of the throttling device for heating the hydraulic fluid in the pre-start period, taking into account the change in the volume of the thermometric substance, is worked out. Calculation models can be used by developers at the design stage of hydraulic drives.

Keywords: throttle device; serviceability of hydraulic systems; working fluid; hydraulic drive; thermometric substance; temperature.

Введение

Эффективность современных мобильных машин, эксплуатирующихся в суровых климатических условиях, когда перепад температуры в гидросистеме может достигать 100 °С, в значительной мере определяется параметрами гидравлических систем и, в частности, параметрами рабочей жидкости. Одним из параметров,

существенно влияющих на эффективность работы гидросистемы, является температурный режим гидропривода. Оптимальная рабочая температура жидкости в гидросистемах находится в пределах 50–70 °С. Перед запуском температура жидкости в гидросистеме равна температуре окружающей среды, которая в зимних условиях может достигать –50 °С. В этом случае целесообразно устанавливать системы регулирования температуры рабочей жидкости, которые позволят ускорить процесс выхода гидросистемы на необходимый температурный режим в предпусковой период [1–4].

На основе анализа систем регулирования температуры рабочей жидкости [5–14] предлагается повысить работоспособность гидросистемы за счет дроссельного устройства разогрева рабочей жидкости, которое позволит обеспечить оптимальный температурный режим в предпусковой период. В связи с этим задачей данного исследования становится разработка конструктивной схемы дроссельного устройства разогрева рабочей жидкости гидросистемы и методики расчета его параметров.

Конструктивная схема дроссельного устройства. Предлагается дроссельное устройство разогрева рабочей жидкости, автоматически включающееся в работу в предпусковой период.

На рис. 1 представлена конструктивная схема дроссельного устройства разогрева рабочей жидкости гидросистемы. Устройство состоит из корпуса *1*, дросселя разогрева с регулировочным винтом *2*, запорного управляемого золотника *3*, жестко связанного с поршнем *4*, пружины *5*, регулировочного винта *6*, капиллярной трубки *7*, выносного теплоприемника *8* и направляющей втулки *9*.

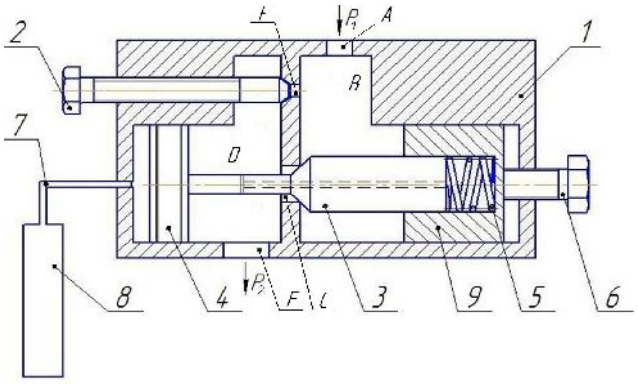

Рис. 1. Конструктивная схема дроссельного устройства разогрева рабочей жидкости гидросистемы

Выносной теплоприемник, капиллярная трубка и поршневая полость герметично соединены между собой и заполнены термометрическим веществом — жидкостью (толуол, ксилол и др.) или газом (фреон и др.). Для исключения влияния теплового расширения теплоприемника на давление заполняющей его жидкости термобаллон рекомендуется изготавливать из материала с низким коэффициентом теплового расширения.

Дроссельное устройство работает следующим образом. Масло из гидросистемы через отверстие *A* подается под давлением в напорную полость *B*. В начальный момент времени запорный управляемый золотник *3* закрыт, и вся рабочая жидкость проходит через дроссельное отверстие *E* в сливную полость *D*.

Проходное сечение дросселя регулируется винтом *2*, при этом изменяется интенсивность разогрева рабочей жидкости. При повышении температуры рабочей жидкости термометрическое вещество в выносном датчике, погруженном в гидравлическую емкость, начинает расширяться и воздействовать на управляющий поршень *4*. Управляющий поршень, преодолевая сопротивление пружины *5*, перемещает золотник вправо и приоткрывает проход через отверстие *C* рабочей жидкости гидросистемы из полости *P* в полость *D*. При дальнейшем разогреве рабочей жидкости золотник будет смещаться вправо до тех пор, пока площадь проходного сечения *C* запорного регулирующего золотника не станет равна площади проходного сечения подводящего трубопровода с целью исключения остаточного гидравлического сопротивления. Винтом *6* регулируется предварительное поджатие пружины *5*, и тем самым изменяется температура открытия запорного золотника *3*. Для исключения влияния давления рабочей жидкости в результате внутренних перетечек на запорный управляемый золотник со стороны пружины *5* просверлен канал, соединяющий пружинную полость со сливной.

Построение математической модели. Площадь проходного сечения щели дросселя [15; 16]:

$$s_{щ} = \pi \cdot d_{ср} \cdot h_{щ}, \quad (1)$$

где $h_{щ}$ — высота щели; $d_{ср}$ — средний диаметр проходной щели дросселя:

$$h_{щ} = h \cdot \sin\alpha, \quad (2)$$

$$d_{ср} = d_{к} - \frac{(h \cdot \sin 2\alpha)}{2}, \quad (3)$$

где h — величина смещения дроссельного устройства 2; $d_{к}$ — диаметр дросселирующего канала; α — угол конуса дросселя (рис. 2).

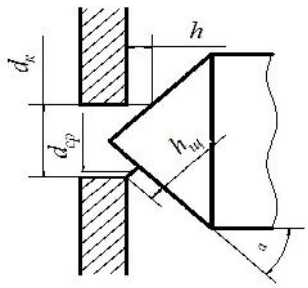

Рис. 2. Проходное сечение дросселя предварительного разогрева

На рис. 3 представлена расчетная схема сил, действующих на золотник.

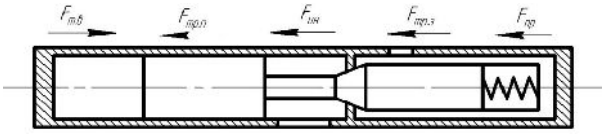

Рис. 3. Силы, действующие на золотник

Из условия равновесия золотника [17]:

$$F_{т.в.} = F_{тр.п.} + F_{тр.з.} + F_{пр} + F_{ин}, \quad (4)$$

где $F_{т.в.}$ — сила, действующая на поршень со стороны термометрического вещества; $F_{тр.п.}$ — сила трения поршня; $F_{тр.з.}$ — сила трения запорного элемента; $F_{пр}$ — сила упругости пружины; $F_{ин}$ — сила инерции.

Сила, действующая на поршень со стороны термометрического вещества [18]:

$$F_{т.в.} = \left(P_0 \cdot \Delta P_{т.в.}\right) \cdot S_n, \quad (5)$$

где P_0 — начальное давление термометрического вещества; $\Delta P_{т.в.}$ — приращение давления термометрического вещества при изменении воздействующей температуры; S_n — площадь поршня.

Сила трения поршня и сила трения золотника:

$$F_{тр.п.} = 10^6 \cdot \pi \cdot D_n \cdot L_n \cdot \mu \cdot K\ .\ , \quad (6)$$

$$F_{тр.з.} = 10^6 \cdot \pi \cdot D_з \cdot L_з \cdot \mu \cdot K, \quad (7)$$

где D_n и $D_з$ — диаметры поршня и золотника соответственно; L_n и $L_з$ — соответственно длины поршня и золотника, соприкасающиеся с направляющей втулкой; μ — коэффициент трения (0,02–0,3); K — коэффициент, зависящий от точности изготовления золотника (0,15–0,03).

Сила инерции:

$$F_{ин} = m_з \cdot a, \quad (8)$$

где $m_з$ — масса золотника; a — ускорение золотника.

Сила сопротивления пружины:

$$F_{пр} = c \cdot \left(b + x\right), \quad (9)$$

где c — коэффициент жесткости пружины; b — величина предварительного сжатия пружины; x — величина сжатия пружины при перемещении поршня [16].

Величина предварительного сжатия пружины:

$$b = \frac{\Psi}{360} \cdot \delta, \quad (10)$$

где Ψ — угол поворота винта; δ — шаг резьбы винта.

Площадь проходного сечения дросселирующего окна золотника:

$$S_{щ.з.} = \pi \cdot d_{ср.з.} \cdot h_{щ.з.}, \quad (11)$$

где $d_{ср.з.}$ — средний диаметр проходной щели; $h_{щ.з.}$ — ширина щели;

$$d_{ср.з.} = d_{к.з.} - \frac{\left(x \cdot \sin 2\beta\right)}{2}, \quad (12)$$

$$h_{щ.з.} = x \cdot \sin \beta, \quad (13)$$

где $d_{к.з.}$ — диаметр дросселирующего канала; x — смещение золотника (поршня); β — угол конуса, заданный конструктивно (рис. 4).

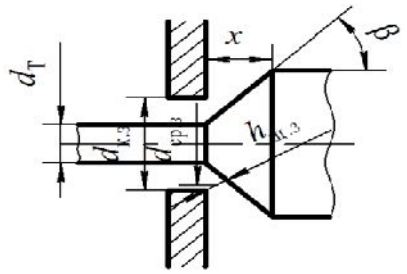

Рис. 4. Расчетная схема запорного управляемого золотника

Если принять, что изменение объема поршневой полости будет равно изменению объема термометрического вещества, то смещение поршня ***x*** и объем термометрического вещества $V_{т.в.}$ найдем из выражений:

$$x = \frac{V_{т.в.}}{S_n}; \quad (14)$$

$$V_{.т.в.} = V_д + V_{кап} + V_n, \quad (15)$$

где S_n — площадь поршня; $V_д$ — объем выносного датчика; $V_{кап}$ — объем капилляра; V_n — объем поршневой полости [16].

Изменение объема термометрического вещества:

$$V_{т.в.} = V_0 \cdot \left(1 + r \cdot \Delta t\right), \quad (16)$$

где V_0 — начальный объем термометрического вещества; r — коэффициент объемного расширения термометрического вещества; Δt — изменение температуры рабочей жидкости гидросистемы.

Заключение

Разработана конструктивная схема дроссельного устройства разогрева рабочей жидкости гидросистемы в предпусковой период. Устройство обеспечивает повышение эффективности привода и сокращает время разогрева рабочей жидкости в гидросистеме при отрицательной температуре.

Предложена методика расчета параметров дроссельного устройства разогрева рабочей жидкости гидросистемы в предпусковой период с учетом изменения объема термометрического вещества при изменении температуры рабочей жидкости гидросистемы.

Расчетные модели могут быть использованы разработчиками на стадии проектирования гидравлических приводов.

Литература

1. Sun W., Virvalo T. Accumulator-pump-motor as energy saving in hydraulic boom // In: Proceedings of the 8th Scandinavian international conference on fluid power, Tampere, Finland. 2003 7–9 May. P. 297–309. Finland: Tampere University of Technology.

2. Yaoxi D., Zheng L., JiayiY. Simulation of downhole throttling process // IJISET – International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology. 2015. Vol. 2, Is. 9. P. 376–379.

3. Komsta J., Stavrou P. Variable Speed Pump Drives for Industrial Machinery – System Considerations [Электронный ресурс] // Fluid Power Journal. 2014. URL: http://fluidpowerjournal.com/2014/04/pump-drives/ (дата обращения: 08.11.2017).

4. Закирзаков Г.Г., Мерданов Ш.М., Конев В.В., Матвеева А.Д., Дубров С.С. Совершенствование гидропривода строительно-дорожных машин для северных условий эксплуатации [Электронный ресурс] // Фундаментальные исследования. 2016. № 12-3. С. 491-495. URL: https://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41120 (дата обращения: 08.11.2017).

5. Альмохаммад А.М. Совершенствование систем приводов гидрофицированных машин для эксплуатации в условиях высоких температур: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Братск, 2015. 21 с.

6. Almohammad A. M., Kulikova N.P., Sorokin E.A., Kaverzina A.S. Influence of increased Temperatures on Operability of the Hydraulic Drive // Журн. Сиб. Федер. ун-та. 2013. № 8. С. 953–956.

7. Рылякин Е.Г., Волошин А.И. Эксплуатационные исследования гидропривода, оснащенного системой терморегулирования рабочей жидкости // Молодой ученый. 2015. № 2. С. 192-195.

8. Рылякин Е.Г., Волошин А.И. Повышение эффективности работы гидропривода мобильных машин [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона. 2015. № 1. URL http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2866 (дата обращения: 10.11.2017).

9. Рылякин Е.Г. Повышение работоспособности тракторных гидросистем терморегулированием рабочей жидкости: автореф. дис. … канд. техн. наук. Пенза, 2007. 22 с.

10. Васильченко В., Соболев В. Регуляторы расхода жидкости для гидроприводов мобильных машин [Электронный ресурс] // Основные средства. 2007. № 12. URL. https://os1.ru/article/7211-regulyatory-rashoda-rabochey-jidkosti-dlya-gidroprivodov-mobilnyh-mashin (дата обращения: 08.11.2017).

11. Денисов В.А. Особенности дроссельного регулирования гидроприводов [Электронный ресурс] // Молодой ученый. 2013. № 6 (53). С. 49-52 URL: https://moluch.ru/archive/53/7248/ (дата обращения: 08.11.2017).

12. Зубрилов Г.Ю., Мельников В.Г. Дроссельное регулирование скорости опускания стрелы грузоподъёмного механизма // Строительные и дорожные машины. 2015. № 7. С. 32-34.

13. Каверзин С.В., Хорош А.И., Каверзина С.С. Гидропривод с дроссельным разогревом рабочей жидкости: А.с. 1008515 СССР; заявл. 26.08.81; опубл. 30.03.83, Бюл. № 12. С. 2.

14. Васильев С.И., Каверзин С.В., Дмитриев В.А., Мальцев В.А. Система регулирования температуры рабочей жидкости в гидроприводе: а.с. 821776, СССР; заявл. 28.06.79; опубл. 15.04.81, Бюл. № 14. 2 с.

15. Титов А.С., Седых Ю.А. Расчет дроссельного устройства разогрева рабочей жидкости с дистанционным управлением по температуре [Электронный ресурс]. URL http://xn-7sbahcbhmvdetl1eioe.xn-p1ai/index.php/stati/raschet-drosselnogo-ustrojstva-razogreva-rabochej-zhidkosti-s-distantsionnym-upravleniem-po-temperature.

16. Каверзин С.В. Разработка методов и средств повышения работоспособности и эффективности гидроприводов самоходных машин, эксплуатируемых в условиях нижних температур: дис. … д-ра техн. наук. Красноярск, 1989. 585 с.

17. Trevor M. Hunt T. Hunt N. D. Vaughan N. The Hydraulic Handbook. Elsevier. 1996. 742 p.

18. Мохаммад А.А., Хорош И.А., Титов М.А., Куликова Н.П. Расчёт дроссельного устройства разогрева рабочей жидкости гидропривода с автоматическим управлением в зависимости от температуры // Вестн. КрасГАУ. 2015. Вып. 12. С. 38-43.

References

1. Sun W., Virvalo T. Accumulator-pump-motor as energy saving in hydraulic boom // In: Proceedings of the 8th Scandinavian international conference on fluid power, Tampere, Finland. 2003 7-9 May. P. 297-309. Finland: Tampere University of Technology.

2. Yaoxi D., Zheng L., JiayiY. Simulation of downhole throttling process // IJISET - International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology. 2015. Vol. 2, Is. 9. P. 376-379.

3. Komsta J., Stavrou P. Variable Speed Pump Drives for Industrial Machinery - System Considerations [Elektronnyi resurs] // Fluid Power Journal. 2014. URL: http://fluidpowerjournal.com/2014/04/pump-drives/ (data obrashcheniya: 08.11.2017).

4. Zakirzakov G.G., Merdanov Sh.M., Konev V.V., Matveeva A.D., Dubrov S.S. Improving the hydraulic drive of road construction machines for northern operating conditions [Elektronnyi resurs] // Fundamental research. 2016. № 12-3. P. 491-495. URL: https://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=41120 (data obrashcheniya: 08.11.2017).

5. Al'mokhammad A.M. Improvement of drive systems hydrofocated machines for operation in conditions of high temperatures: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk. Bratsk, 2015. 21 p.

6. Almohammad A. M., Kulikova N.P., Sorokin E.A., Kaverzina A.S. Influence of increased Temperatures on Operability of the Hydraulic Drive // Journal of Siberian Federal University. 2013. № 8. P. 953-956.

7. Rylyakin E.G., Voloshin A.I. Operational research of a hydraulic drive equipped with a thermal control system of a working fluid // Young Scientist. 2015. № 2. P. 192-195.

8. Rylyakin E.G., Voloshin A.I. Increase the efficiency of the hydraulic drive of mobile machines [Elektronnyi resurs] // Engineering journal of Don. E-journal. 2015. № 1. URL http://www.ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2866 (data obrashcheniya: 10.11.2017).

9. Rylyakin E.G. Increase of tractor hydraulic system operability by a thermal regulation of working liquid: avtoref. dis. … kand. tekhn. nauk. Penza, 2007. 22 p.

10. Vasil'chenko V., Sobolev V. Fluid flow regulators for hydraulic drives of mobile machines [Elektronnyi resurs] // Osnovnye sredstva. 2007. № 12. URL. https://os1.ru/article/7211-regulyatory-rashoda-rabochey-jidkosti-dlya-gidroprivodov-mobilnyh-mashin (data obrashcheniya: 08.11.2017).

11. Denisov V.A. Features of throttling regulation of hydraulic drives [Elektronnyi resurs] // Young Scientist. 2013. № 6 (53). P. 49-52. URL: https://moluch.ru/archive/53/7248/ (data obrashcheniya: 08.11.2017).

12. Zubrilov G.Yu., Mel'nikov V.G. Throttle control of the lowering speed of the boom lifting device // Construction and road building machinery. 2015. № 7. P. 32-34.

13. Kaverzin S.V., Khorosh A.I., Kaverzina S.S. Hydraulic drive with throttle heating of working fluid: A.s. 1008515 SSSR; zayavl. 26.08.81; opubl. 30.03.83, Byul. № 12. P. 2.

14. Vasil'ev S.I., Kaverzin S.V., Dmitriev V.A., Mal'tsev V.A. The system for controlling the temperature of hydraulic fluid in a hydraulic drive: a.s. 821776, SSSR; zayavl. 28.06.79; opubl. 15.04.81, Byul. № 14. 2 p.

15. Titov A.S., Sedykh Yu.A. Calculation of the throttle device for heating the working fluid with remote temperature control [Elektronnyi resurs]. URL http://xn-7sbahcbhmvdetl1eioe.xn--p1ai/index.php/stati.

16. Kaverzin S.V. Development of methods and means to improve the efficiency and efficiency of hydraulic drives of self-propelled machines operated in conditions of lower temperatures: dis. … d-ra tekhn. nauk. Krasnoyarsk, 1989. 585 p.

17. Trevor M. Hunt T. Hunt N. D. Vaughan N. The Hydraulic Handbook. Elsevier. 1996. 742 p.

18. Mokhammad A.A., Khorosh I.A., Titov M.A., Kulikova N.P. Calculation of the throttle device for heating the working fluid of the hydraulic drive with automatic control, depending on the temperature // The Bulletin of KrasGAU. 2015. Vyp. 12. P. 38-43.