

ЖИЛЕВИЧ М. И., канд. техн. наук, доц.,  
зав. каф. «Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод»  
E-mail: gra\_atf@bntu.by

ЕРМИЛОВ С. В.,  
ст. преп.  
E-mail: gra\_atf@bntu.by

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 30.09.2022

## МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ МАКЕТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО МОДУЛЯТОРА ТОРМОЗНОЙ СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

*Антиблокировочная система (АБС) является обязательной опцией практически всего спектра автотранспортных средств. Гидравлические АБС устанавливаются, как правило, на легковых и грузовых автомобилях небольшой грузоподъемности. Модулятор является основным исполнительным элементом АБС, регулирующим давление в тормозной системе. Независимо от алгоритма работы модулятора, на начальной фазе экстренного торможения до включения циклического режима через него проходит наибольший расход жидкости.*

*Конструктивные размеры исполнительных гидроцилиндров тормозной системы карьерных самосвалов особо большой грузоподъемности обуславливают большие расходы рабочей жидкости и, как следствие, большие габариты золотниковых пар модуляторов АБС, что ограничивает применение клапанов с прямым электромагнитным управлением по причине ограниченной величины развиваемого ими усилия и быстродействия, связанного с инерционностью золотников.*

*В процессе решения задачи по созданию модулятора АБС для карьерных самосвалов особо большой грузоподъемности разработана новая подтвержденная патентом на изобретение схема, позволяющая обеспечить необходимое быстродействие привода на основе использования клапанов управления с минимизированными размерами путем подключения дополнительного потока рабочей жидкости на начальной фазе экстренного торможения.*

*Изготовлен макетный образец модулятора. Разработаны схема испытательного стенда и методика проведения испытаний макета модулятора АБС, изготовлен стенд для исследования расходно-перепадных характеристик модулятора.*

*Проведены экспериментальные исследования макета модулятора, получены расходно-перепадные характеристики, позволившие подтвердить его работоспособность и проанализировать пропускную способность золотниковой пары фазы торможения с заведомо меньшими конструктивными размерами с использованием схемы модулятора со вспомогательным клапаном в соответствии с патентом и без вспомогательного клапана.*

**Ключевые слова:** антиблокировочная система, гидропривод, испытания, макет, методика, модулятор, карьерный самосвал особо большой грузоподъемности, тормозная система, расходно-перепадная характеристика, стенд.

### Введение

Антиблокировочная система (АБС) предназначена для обеспечения минимального тормозного пути с сохранением устойчивого и управляемого движения при процессе торможения автотранспортного средства. В настоящее время АБС являются обязательной опцией

практически всего спектра автотранспортных средств. Наибольшее применение они получили в тормозных системах с пневматическим приводом. Гидравлические АБС устанавливаются, как правило, на легковых и грузовых автомобилях небольшой грузоподъемности. Установка АБС на карьерные самосвалы



расходно-перепадных характеристик на макете модулятора 3 с использованием вспомогательного клапана 6 (см. рисунок 1) и без него.

Перед включением стенда и проведением испытаний необходимо разгрузить стенд максимально ослабив регулировочную пружину предохранительного клапана 5. Распределитель 2 должен быть установлен в среднюю позицию. Гидрораспределитель 4 отключения вспомогательного клапана должен быть закрыт (левая по схеме позиция).

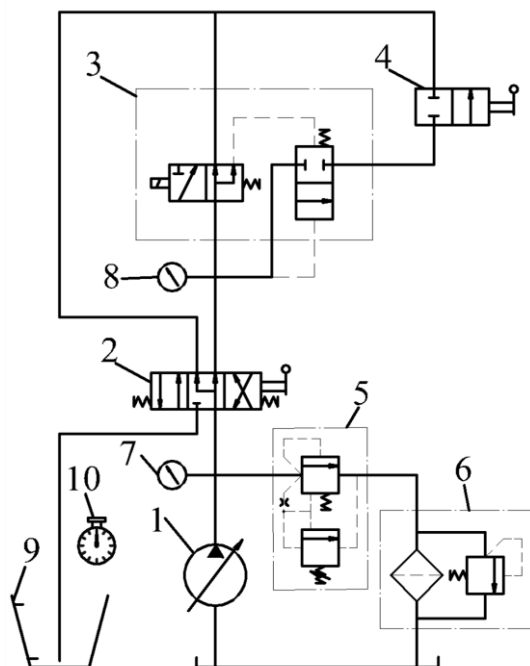


Рисунок 2 – Принципиальная гидравлическая схема стенда

1 – насос; 2 – распределитель; 3 – макет модулятора; 4 – гидрораспределитель отключения вспомогательного клапана; 5 – предохранительный клапан; 6 – сливной фильтр; 7, 8 – датчики давления; 9 – мерный бак; 10 – секундомер

После включения стенда регулировочным винтом аксиально-поршневого регулируемого насоса 1 устанавливается максимальная подача в системе. Регулировочным винтом предохранительного клапана 5 устанавливается требуемое давление, величина которого контролируется по показаниям датчика давления 7.

Определение перепада давления на модуляторе при текущем расходе жидкости осуществляется следующим образом.

Золотник распределителя 2 перемещался в левую по схеме позицию. Фиксировались показания датчика давления 8, установленного на входе в макет модулятора АБС. Время заполнения заданного объема мерной емкости 9 контролировалось секундомером 10. Включение

секундомера происходило в момент достижения уровнем жидкости минимальной отметки на смотровом окне мерной емкости 9, а выключение – на максимальной отметке.

После заполнения мерной емкости 9 золотник распределителя поз. 2 переводился в нейтральное положение, а мерная емкость опорожнялась.

Испытания проводились для двух положений гидрораспределителя 4 отключения вспомогательного клапана при нескольких позициях регулировочного винта аксиально-поршневого насоса 1, обеспечивающих различный расход рабочей жидкости через макет модулятора 3.

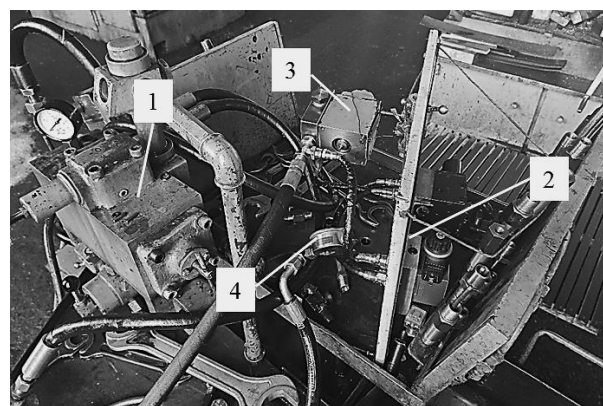


Рисунок 3 – Общий вид стенда:

1 – распределитель; 2 – макет модулятора; 3 – гидрораспределитель отключения вспомогательного клапана; 4 – датчик давления

### Результаты испытаний

Для предложенного схемного решения на основании формулы Торричелли [6] была разработана математическая модель для исследования зависимости перепада давления на модуляторе от расхода жидкости в системе и от габаритных размеров рабочего окна вспомогательного клапана на начальной фазе экстренного торможения [4, 5]:

$$\Delta p = \frac{2}{\rho} \cdot \left( \frac{1}{\mu_1 \cdot \pi \cdot d_{\text{зол1}} \cdot x_1 + \mu_3 \cdot \pi \cdot d_{\text{зол3}} \cdot x_3} \right)^2 \cdot Q^2,$$

где  $\Delta p$  – перепад давления на модуляторе;  $Q$  – расход жидкости через модулятор;  $\rho$  – плотность рабочей жидкости;  $\mu_{\text{осн}}$ ,  $d_{\text{осн}}$ ,  $x_{\text{осн}}$  – соответственно коэффициент расхода, диаметр золотника и величина рабочего окна основного впускного клапана;  $\mu_{\text{всп}}$ ,  $d_{\text{всп}}$ ,  $x_{\text{всп}}$  – соответственно коэффициент расхода, диаметр золотника и величина рабочего окна вспомогательного клапана.

Получено семейство графиков зависимости потерь давления на модуляторе от расхода жидкости в системе и от габаритных размеров рабочего окна вспомогательного клапана.

Результаты исследований представлены на рисунок 4. Сплошной линией показаны графики, отражающие изменение перепада давления от расхода для включенной (сплошная линия I) и отключенной вспомогательной линии

модулятора АБС (сплошная линия II), построенные по данным, полученным в ходе проведения эксперимента. Штриховыми линиями изображены расчетные характеристики, отражающие влияние расхода рабочей жидкости, протекающей через гидравлический модулятор АБС на величину перепада давления в нем.

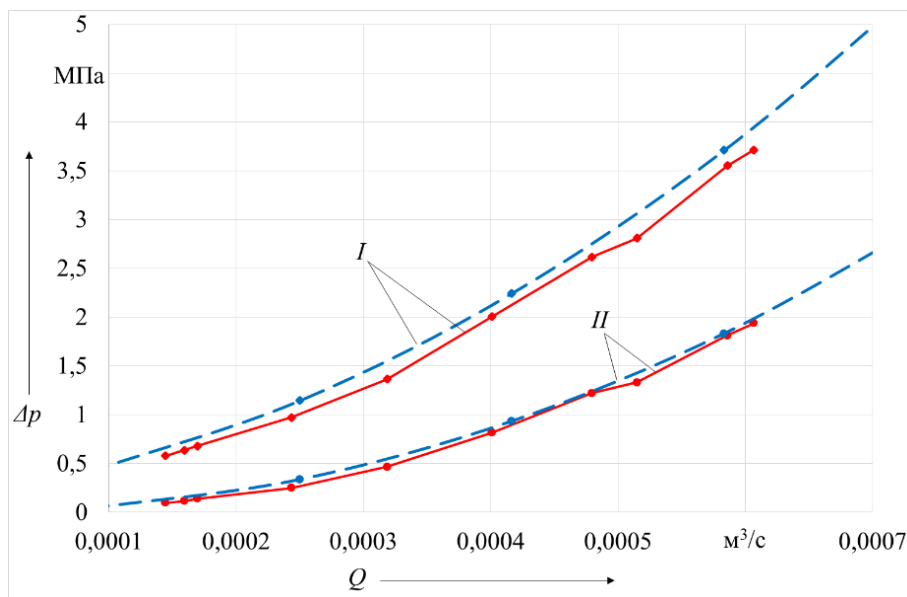


Рисунок 4 – Экспериментальные и расчетные расходно-перепадные характеристики гидравлического модулятора АБС

Параметры окон основного клапана  $d_{осн} \cdot x_{осн} = 8,0 \text{ мм} \cdot 0,5 \text{ мм}$ , вспомогательного —  $d_{всп} \cdot x_{всп} = 10,0 \text{ мм} \cdot 1,0 \text{ мм}$ , где  $d$  и  $x$  — соответственно диаметр и смещение запорного элемента.

Результаты эксперимента показывают уменьшение перепада давления (от 0,48 МПа до 1,78 МПа) на гидравлическом модуляторе антиблокировочной системы автомобиля особо большой грузоподъемности во всем диапазоне изменения расхода рабочей жидкости (от 0,00014 м³/с до 0,00061 м³/с) после смещения запорного элемента клапана отключения вспомогательной линии влево по схеме, что подтверждает работоспособность предложенного схемного решения.

Полученные характеристики подтверждают работоспособность предложенного схемного решения модулятора АБС для автомобилей особо большой грузоподъемности и эффективность вспомогательного клапана на начальной стадии экстренного торможения по критерию потерь давления на модуляторе. Расхождение экспериментальной и теоретической зависимостей — в пределах 6 %.

## Выводы

1. На основе подтвержденной патентом на изобретение [2] схемы гидравлического модулятора для тормозной системы транспортного средства разработан и изготовлен макетный образец модулятора АБС для карьерных самосвалов особо большой грузоподъемности.

2. Разработаны схема испытательного стенда и методика проведения испытаний макета модулятора АБС, изготовлен стенд для исследования расходно-перепадных характеристик модулятора.

3. Проведены экспериментальные исследования макета модулятора, получены расходно-перепадные характеристики, позволившие проанализировать пропускную способность золотниковой пары фазы торможения с заведомо меньшими (по сравнению с расчетными) конструктивными размерами с использованием схемы модулятора со вспомогательным клапаном в соответствии с патентом [2] и без вспомогательного клапана.

4. Результаты эксперимента показали уменьшение перепада давления на модуляторе в диапазоне от 0,48 МПа до 1,78 МПа с включенным вспомогательным клапаном, в сравнении со схемой с отключенным вспомогательным

клапаном, в диапазоне изменения расхода рабочей жидкости от 0,00014 м<sup>3</sup>/с до 0,00061 м<sup>3</sup>/с, причем отклонение полученных характеристик от расчетных составило около 6 %.

### Литература

1. Модулятор гидравлического тормозного привода с большим расходом рабочей жидкости / М. И. Жилевич [и др.] // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета : сб. науч. тр. / Харьк. нац. автомоб.-дор. ун-т ; редкол.: В. А. Богомолов (глав. ред.) [и др.] – Харьков : ХНАДУ, 2016. – Вып. 75. – С. 83–88

2. Кишкевич, П. Н. Статический и динамический расчет гидро- и пневмораспределителей : учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-36 01 07 «Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин» / П. Н. Кишкевич, М. И. Жилевич, П. Р. Бартош ; БНТУ, каф. «Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод». – Минск : БНТУ, 2012. – 79 с.

3. Гидравлический модулятор для тормозной системы транспортного средства : пат ВУ 19812 С1 / М. И. Жилевич, С. . Ермилов. – Опубл. 28.02. 2016.

4. Zhilevich, M., etc. Method of calculating the design parameters of a modulator anti-lock braking system with a high flow of working fluid./ M. Zhilevich [et al.] // Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport / ed.

P. Czech (editor-in-chief) [et al.]. – The Publishing House of the Silesian University of Technology, 2021. – Vol. 110. – P. 199–210.

5. Ермилов С. В. Расчетные исследования и анализ расходно-перепадных характеристик модулятора гидравлической антиблокировочной системы для автомобилей особо большой грузоподъемности / С. В. Ермилов, М. И. Жилевич // Вестник Брестского государственного технического университета. Серия: Машиностроение – Брест: БГТУ, 2020. – № 122/4 – С. 40–43.

6. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы : учебник для машиностроительных вузов / Т. М. Башта [и др.]. – 4-е изд., стереотипное, перепечатка со второго издания 1982 г. – М: Издательский дом Альянс, 2010. – 423 с.

7. Желтовский, Б. Ю. Исследование и испытание гидропневмосистем машин: учебно-методическое пособие для вузов / Б. Ю. Желтовский, М. Г. Халамонский, В. С. Шевченко. – Мн. : Технопринт, 2004. – 204 с.

8. Васильченко, В. А. Гидравлическое оборудование мобильных машин : справочник / В. А. Васильченко. – Москва: Машиностроение, 1983. – 301 с.

9. Свешников, В. К. Станочные гидроприводы : справочник / В. К. Свешников. – 6-е изд. перераб. и доп. – СПб. : Политехник, 2015. – 627 с.

UDC 629.114

ZHYLEVICH Michael I., Ph.D. in Eng., Ass. prof.,  
head of the department «Hydropneumautomatics and hydropneumoprivod»  
E-mail: gpa\_atf@bntu.by

YERMILOV Sergei V.,  
senior lecturer  
E-mail: gpa\_atf@bntu.by

Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 30 September 2022

## METHODOLOGY AND RESULTS OF BENCH TESTS OF THE LAYOUT OF THE HYDRAULIC MODULATOR OF THE VEHICLE BRAKE SYSTEM

*The anti-lock system (ABS) is a mandatory option for practically the entire range of vehicles. Hydraulic ABS are installed, as a rule, on light-duty cars and trucks. The modulator is the main executive element of the ABS that regulates the pressure in the brake system. Regardless of the mode of operation of the modulator, at the initial phase of emergency braking, before switching on the cyclic mode, the greatest fluid flow passes through it.*

*The design dimensions of the executive hydraulic cylinders of the braking system of especially heavy-duty dump trucks cause high working fluid consumption and, as a result, large dimensions of the spool pairs of ABS modulators, which limits the use of valves with direct electromagnetic control due to the limited magnitude of the force they develop and the speed associated with the inertia of the spool.*

*In the process of solving the problem of creating an ABS modulator for especially heavy-duty dump trucks, a new scheme has been developed, confirmed by a patent for the invention, which allows for the necessary speed of the drive based on the use of control valves with minimized dimensions by connecting an additional flow of working fluid at the initial phase of emergency braking.*

*A mock-up sample of the modulator was made. The scheme of the test stand and the methodology for testing the ABS modulator layout have been developed, a stand has been made to study the flow-differential characteristics of the modulator.*

*Experimental studies of the modulator layout were carried out, the flow-drop characteristics were obtained, which made it possible to confirm its operability and analyze the throughput of the golden pair of the braking phase with obviously smaller design dimensions using the modulator circuit with an auxiliary valve in accordance with the patent and without an auxiliary valve.*

**Keywords:** *anti-blocking system, hydraulic drive, tests, model, methodology, modulator, mining dump truck with extra heavy payload, braking system, flow rate-difference characteristic, stand.*

## References

1. Modulator of hydraulic brake drive with high flow of working fluid / M. I. Zhilevich, [et al.] // Bulletin of Kharkiv National Automobile and Road University : collection of scientific tr. / Kharkiv. national. auto.-dor. un-t ; ed. : V. A. Bogomolov (editor-in-chief) [et al.] – Kharkiv: KHNADU, 2016. – Iss. 75. – P. 83–88. (in Russian).

2. Kishkevich, P. N. Static and dynamic calculation of hydraulic and pneumatic distributors: an educational and methodical manual for students of specialty 1-36 01 07 «Hydraulic and pneumatic systems of mobile and technological machines» / P. N. Kishkevich, M. I. Zhilevich, P. R. Bartosh ; Belarusian National Technical University, Department of «Hydropneumatics and hydropneumo-drive». – Minsk : BNTU, 2012. – 79 p. (in Russian).

3. Hydraulic modulator for the motor vehicle system : pat BY 19812 C1 / M. I. Zhilevich, S. V. Ermilov. – Publ. 28.02. 2016. (in Russian).

4. Zhilevich, M., etc. Method of calculating the design parameters of a modulator anti-lock braking system with a high flow of working fluid. / M. Zhilevich [et al.] // Scientific Journal of Silesian University of Technology. Series Transport / ed. P. Czech (editor-in-chief) [et al.] – The Publishing

House of the Silesian University of Technology 2021. – Vol. 110. – P. 199-210.

5. Ermilov, S. V. Computational studies and analysis of the flow-drop characteristics of the modulator of the hydraulic anti-block system for heavy-duty vehicles / S. V. Ermilov, M. I. Zhilevich // Bulletin of the Brest State Technical University. Series: Mechanical Engineering – Brest, BSTU 2020. – № 122/4 – P. 40–43. (in Russian).

6. Hydraulics, hydraulic machines and hydraulic water : textbook for engineering universities / T. M. Bashta [et al.]. – 4th ed., stereotypical, reprint from the second edition of 1982 – M: Publishing house Alliance, 2010 – 423 p. (in Russian).

7. Zholtovsky, B. Yu. Research and testing of hydropneumosystems of machines: textbook-methodical manual for universities / B. Yu. Zheltovsky, M. G. Khalamonsky, B. C. Shevchenko. – Mn.: Technoprint, 2004. – 204 p. (in Russian)

8. Vasilchenko, V. A. Hydraulic equipment of mobile machines: reference / V. A. Vasilchenko. – M.: Mashinostroenie, 1983. – 301 p. : ill. (in Russian).

9. Sveshnikov, V. K. Machine hydraulic drives: Handbook / V. K. Sveshnikov. – 6th ed. reprint. and additional. – St. Petersburg : Polytechnic, 2015. – 627 p.. (in Russian).