



**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА  
РАСХОДА ЖИДКОСТИ ДЛЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ БУРОВОЙ МАШИНЫ**

**В. Б. Васильев<sup>1</sup>, А. П. Муслимов<sup>1</sup>, В. А. Васильев<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Институт машиноведения и автоматики НАН Кыргызской Республики,*

*E-mail: imash.nankr@gmail.com, ул. Скрябина 23, г. Бишкек 720044, Кыргызстан*

<sup>2</sup>*Хакасский технический институт – филиал Сибирского федерального университета,*

*E-mail: vvas1970@ya.ru, пр. Свободный 79, г. Красноярск 660041, Россия*

Рассмотрен порядок проведения научных экспериментов при разработке автоматического регулятора расхода жидкости с гидравлическим управлением. Доказана необходимость применения автоматических систем в технологическом процессе бурения. Приведены результаты экспериментальных исследований регулятора расхода жидкости, а именно его выходная характеристика и осциллограммы разгона гидромотора при различных режимах работы регулятора.

*Технологический процесс, регулирование, расход жидкости, гидравлическая система, золотник, редукционный клапан, гидромотор, экспериментальные исследования, автоматическое регулирование*

**EXPERIMENTAL STUDY OF AUTOMATIC LIQUID FLOW CONTROLLER  
FOR HYDRAULIC DRILLING MACHINE**

**V. B. Vasiliev<sup>1</sup>, A. P. Muslimov<sup>1</sup>, and V. A. Vasiliev<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Institute of Machine Science and Automation, National Academy of Sciences of Kyrgyz Republic,*

*E-mail: imash.nankr@gmail.com, ul. Skryabina 23, Bishkek 720055, Kyrgyzstan*

<sup>2</sup>*Khakass Technical Institute – branch of Siberian Federal University,*

*E-mail: vvas1970@ya.ru, pr. Svobodnyy 79, g. Krasnoyarsk 660041, Russia*

The procedure for conducting scientific experiments in the development of an automatic flow regulator with hydraulic control is considered. The necessity of using automatic systems in the drilling process is proved. The results of experimental studies of the liquid flow regulator, namely its output characteristic and oscillograms of the hydraulic motor acceleration under various operating modes of the regulator are presented

*Technological process, regulation, fluid flow, hydraulic system, spool, pressure reducing valve, hydraulic motor, experimental research, automatic regulation*

В последнее время автоматические системы управления становятся неотъемлемой частью современных технологических процессов, так как с их помощью обеспечивается высокая производительность, точность, качество и низкая себестоимость продукции любого производства. В горной промышленности одним из самых распространенных и дорогостоящих процессов является бурение, посредством которого осуществляются все этапы горной промышленности, начиная с поисковых работ и заканчивая добычей полезных ископаемых. Существует большое разнообразие буровых машин, исполнительные механизмы которых работают от различных видов энергии — электрических, гидравлических или пневматических. Соответственно для каждого вида энергии имеются исполнительные механизмы и автоматические системы для управления ими.

В Институте машиноведения и автоматики Национальной академии наук Кыргызской Республики ведутся исследования по созданию автоматических систем регулирования режимами работ буровых машин с применением всех перечисленных исполнительных механизмов.

Процесс проектирования автоматической системы для управления электрическими двигателями гораздо проще в результате правильно запрограммированного преобразователя частоты тока, чего нельзя утверждать в случае гидравлических и пневматических систем, поскольку при их проектировании нередко приходится сталкиваться с проблемами отсутствия необходимых элементов автоматики. В связи с этим автоматические системы значительно усложняются, что ведет к усложнению самих гидро- или пневмосистем. Разработка и совершенствование элементов автоматики, отвечающих современным требованиям, является приоритетным направлением.

В любой автоматической системе наиболее важную роль играют регулирующие устройства. В данном случае это автоматический регулятор расхода жидкости, предназначенный автоматически изменять расход  $Q$  жидкости в зависимости от изменяющихся внешних факторов. Разработке таких регуляторов посвящено большое количество научных работ [1–4].

Ранее рассматривался автоматический регулятор с электромагнитным управлением, способный пропускать через себя до 8 л/мин жидкости. Его выходные характеристики описаны в работе [5]. Такие регуляторы находят широкое применение в гидросистемах различных машин для управления гидроцилиндрами. Для управления гидромоторами разработан регулятор с гидравлическим управлением, позволяющий пропускать до 40 л/мин (рис. 1).

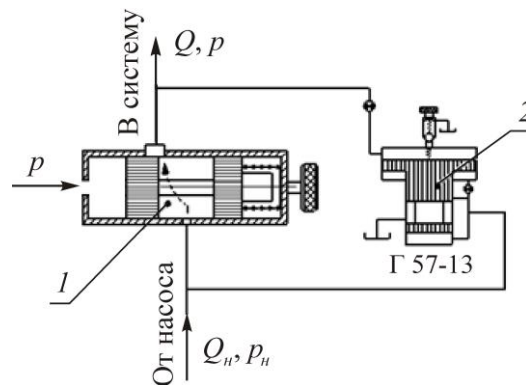


Рис. 1. Схема регулятора расхода жидкости с гидравлическим управлением: 1 — регулятор расхода; 2 — редукционный клапан

Регулятор 1 — золотникового типа, золотник с острыми краями — перемещается за счет давления  $p$  в гидравлическом канале обратной связи. При снижении давления он возвращается в заданное положение с помощью пружины. Для того, чтобы его выходная характеристика стремилась к прямолинейности, а также для получения перепада давления между входной и выходной магистралями регулятора к последнему параллельно подключается редукционный клапан 2. Он служит также для стравливания избыточной жидкости при регулировании в бак.

Зависимость расхода жидкости регулятора  $Q$  выглядит так:

$$Q = \mu \pi d h \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}},$$

где  $\mu = 0.62 - 0.65$  — коэффициент расхода регулятора;  $h$  — пропускная щель для прохода жидкости, м;  $d$  — диаметр плунжера золотника, м;  $\rho$  — плотность масла, кг/м<sup>3</sup>;  $\Delta p = p_0 - p_1$  — перепад давления на регуляторе,  $\Delta p = \text{const}$ .

Математическая модель имеет вид:

$$Q = h k_s,$$

где

$$k_s = \mu \pi d \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}}.$$

## Передаточная функция щели

$$W_{щ}(p) = \frac{Q(p)}{h(p)}$$

Из математической модели видно, что зависимость расхода жидкости от величины пропускной щели линейная (рис. 2).

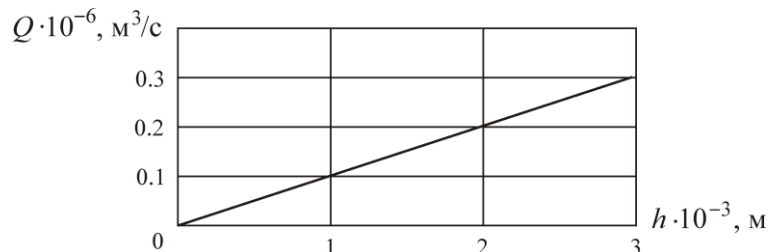


Рис. 2. Зависимость расхода жидкости от изменения размера щели

При исследовании регулятора расхода жидкости в качестве объекта управления выбран гидромотор гидроторного типа OMS 100, установленный на специальном гидростенде. Цель экспериментов — получение выходной характеристики регулятора, а именно, зависимости расхода жидкости от величины пропускной щели. В конструкции регулятора предусмотрено крепление индикатора часового типа, с помощью которого можно контролировать перемещение золотника, регулирующего пропускную щель. Опыты осуществлялись при вращении гидромотора в холостом режиме с применением гидравлического масла марки И-80. Проведение экспериментальных работ начиналось с открытия щели регулятора на 0.2 мм, после чего измерялось количество оборотов на гидродвигателе, затем щель увеличивали пока она не достигала 1 мм. К вращающемуся ротору гидромотора подключался тахогенератор, с которого самописцем снимались характеристики разгона ротора. Из полученных осциллограмм (рис. 3) были вычислены времена переходных процессов, т. е. время разгона гидромотора от статического состояния до определенной скорости вращения ротора.

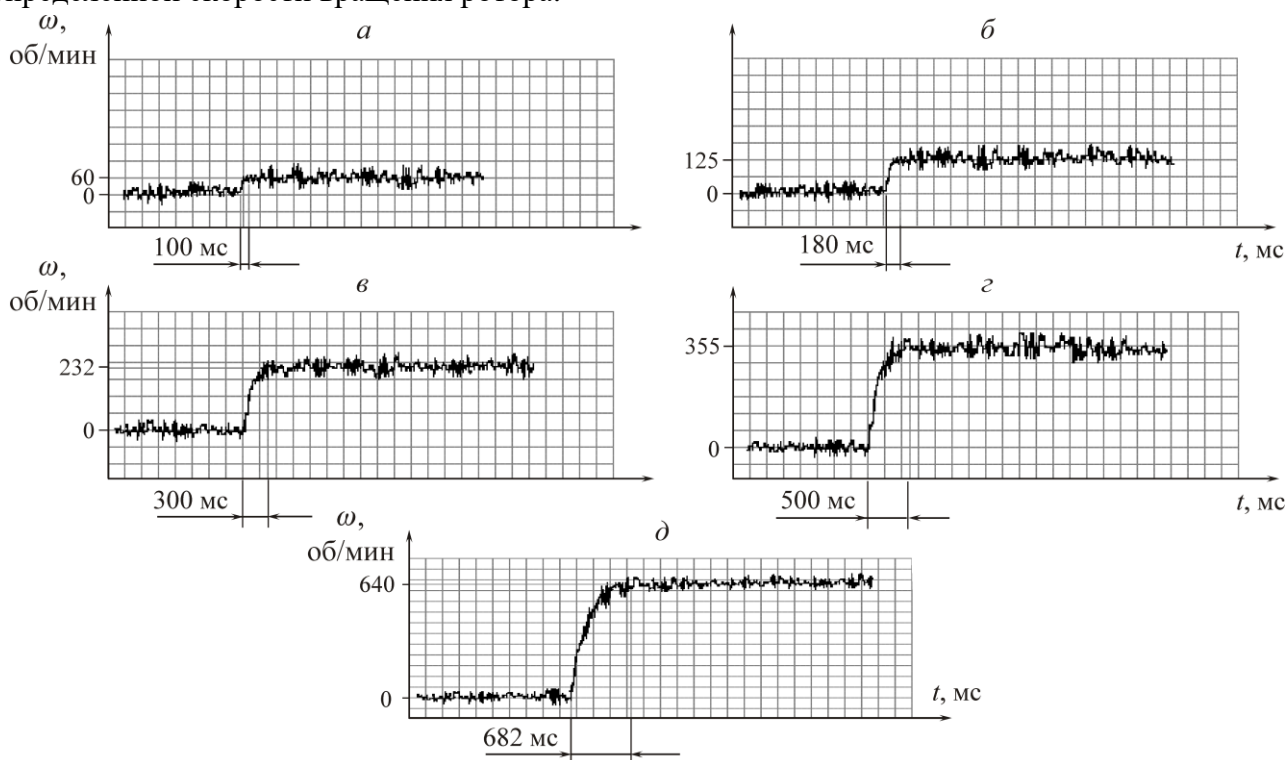


Рис. 3. Осциллограммы зависимости скорости вращения гидромотора от изменения размера щели, мм: а — 0.2; б — 0.4; в — 0.6; г — 0.8; д — 1.0

На рис. 4 представлены теоретическая и экспериментальная зависимости скорости гидравлического мотора от величины щели регулятора, построенные по следующим данным:

Размер щели $h$ , мм	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
Скорость вращения гидромотора $\omega$ , об/мин	60	125	232	355	640

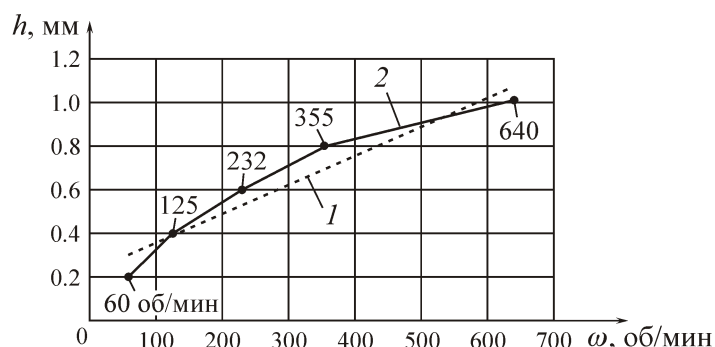


Рис. 4. Зависимость скорости вращения гидромотора от величины пропускной щели  $h$  регулятора: 1 — теоретическая характеристика; 2 — экспериментальная

## ВЫВОДЫ

Разработан регулятор расхода жидкости с гидравлическим управлением. Он может применяться в гидравлических системах, где требуется автоматическое изменение расхода жидкости в зависимости от внешних факторов. Теоретически и экспериментально доказана работоспособность регулятора. На примере регулирования скорости вращения гидромотора получены выходная характеристика и времена переходных процессов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Goodwin G. K., Grebe S. F., and Salgado M. E. Designing of control systems, Moscow, Binom, 2004, 911 pp. [Гудвин Г. К., Гребе С. Ф., Сальгадо М. Э. Проектирование систем управления. — М.: Бином, 2004. — 911 с.]
2. Rebrik V. M. Drilling of engineering geological wells, Moscow, Nedra, 1990, 336 pp. [Ребрик В. М. Бурение инженерно геологических скважин. — М.: Недра, 1990, — 336 с.]
3. Besekersky V. A. and Popov E. P. Theory of automatic control systems, Saint Petersburg, Publishing house "Profession", 2003, 752 pp. [Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического управления. — СПб.: Изд-во "Профессия", 2003. — 752 с.]
4. Klyuev A. S. Automatic regulation, Moscow, Energy, 1973, 392 pp. [Клюев А. С. Автоматическое регулирование. — М.: Энергия, 1973. — 392 с.]
5. Vasiliev V. B. Design of an automatic fluid flow controller for controlling the operating modes of a hydraulic drilling machine, Fundamental and Applied Mining Sciences, 2018, vol. 5, no 2, pp. 213–217. [Васильев В. Б. Конструкция автоматического регулятора расхода жидкости для управления режимами работы гидравлической буровой машины // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. — 2018. — Т. 5. — № 2. — С. 213–217.]