



**РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ РАБОТ
ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ БУРОВОЙ МАШИНЫ И ГИДРОАППАРАТУРЫ**

В. Б. Васильев¹, А. П. Муслимов¹, В. А. Васильев²

¹*Институт машиноведения и автоматики НАН КР, E-mail: imash.nankr@gmail.com,
ул. Скрябина 23, г. Бишкек 720044, Кыргызстан*

²*Хакасский технический институт – филиал Сибирского федерального университета,
E-mail: vvas1970@ya.ru, пр. Свободный 79, г. Красноярск 660041, Россия*

Приведены гидравлические схемы разработанного универсального стенда, предназначенного для практического исследования спроектированных средств автоматизации, получения их выходных параметров, а также для настройки гидравлических регуляторов расхода жидкости и проведения анализа адекватности работы автоматических систем, предназначенных для регулирования режимов работ буровых машин. Рассмотрен принцип работы стенда и технические характеристики его основных гидравлических устройств.

Гидравлическая система, экспериментальные исследования, гидравлические устройства, исполнительные механизмы, автоматический регулятор расхода жидкости, режимы бурения

**DEVELOPMENT OF A UNIVERSAL STAND FOR STUDYING
AUTOMATIC OPERATION MODE CONTROL SYSTEMS
OF HYDRAULIC DRILLING MACHINE AND HYDRAULIC EQUIPMENT**

V. B. Vasilev, A. P. Muslimov, and V. A. Vasilev

¹*Institute of Engineering Science E-mail: imash.nankr@gmail.com,
ul. Scriabin 23, Bishkek 720044, Kyrgyzstan*

²*Khakassky technical Institute, Branch of the Siberian Federal University,
ul. Shchetinkina 27, Abakan 655017, Republic of Khakassia,
E-mail: vvas1970@ya.ru, pr. Svobodny 79, Krasnoyarsk 660041, Russia*

The paper presents the hydraulic diagrams of the developed universal stand intended for the practical study of designed automation tools, obtaining their output parameters, as well as for adjusting hydraulic fluid flow controllers and analyzing the adequacy of operation of automatic systems designed to regulate the operating modes of drilling machines. The operating principle of the stand is studied in detail and technical characteristics of its main hydraulic devices are presented.

Hydraulic system, experimental studies, hydraulic devices, actuators, automatic fluid flow controller, drilling modes

Наиболее эффективным способом повышения производительности технологических процессов является их автоматизация, [1, 2] посредством которой, контролируются и управляются основные физические параметры, влияющие на качество и себестоимость получаемой продукции, а также на безопасность и эргономичность при управлении технологическим оборудованием. В настоящее время большое внимание уделяется разработке новых средств автоматизации, отвечающим современным требованиям, поскольку только на их базе проектируются высокоскоростные автоматические системы управления технологическими процессами [3].

Одним из трудоемких и дорогостоящих в горной промышленности является бурение. В то же время оно является наиболее востребованным — без него не обходится ни одна операция по добыче полезных ископаемых [4]. Поэтому автоматизация буровых машин и оборудования имеет большое значение в решении таких задач как снижение себестоимости скважин и шпуров, повышение их качества, увеличение стойкости бурового инструмента и др. [3, 5].

В институте машиноведения и автоматики НАН Кыргызской Республики активно ведутся работы по созданию современных средств автоматизации, в частности магнитоупругих датчиков крутящего момента и гидравлических регуляторов расхода жидкости, а также автоматических систем для регулирования режимами работ буровых машин. Отсюда возникает острая необходимость в наличие универсального стенда, измеряемого выходные параметры новых спроектированных устройств автоматизации и автоматических систем.

С этой целью авторами разработан универсальный стенд, упрощенная принципиальная схема которого показана на рис. 1. Изначально стенд проектировался для исследования новых регуляторов расхода жидкости, но проектировщики предусмотрели дополнительные функции, такие как исследования других гидравлических элементов, крутящего момента и осевой нагрузки на вращающемся вале, а также работоспособности разработанных автоматических систем, предназначенных для стабилизации режимов работы гидравлических исполнительных механизмов.

Для осуществления всех дополнительных функций предусмотрены приставные блоки с механизмами исследования и с возможностью удобного и быстрого подключения их к стенду. В связи с этим в данной работе представлено две схемы стенда, выполняющие разные функции. К примеру, схема на рис. 1 предназначена для исследования и настройки спроектированного регулятора расхода жидкости, управляемого скоростью гидроцилиндра. Такая схема актуальна в том случае, когда необходимо исследовать автоматическую систему для управления режимами работ буровой машины, подача инструмента в которой осуществляется посредством гидроцилиндра. Более подробное описание регулятора расхода жидкости приведено в [5]. Схема, показанная на рис. 2 более подробная и усложненная, так как здесь исследуется больше физических параметров, и она актуальна в том случае, когда подача инструмента в буровой машине осуществляется посредством гидромотора. В этом случае регулятор расхода жидкости с некоторыми другими элементами гидравлики и автоматики устанавливаются иного типа с расчетом на повышенный расход рабочего масла.

Упрощенная схема гидростенда (рис. 1) состоит из следующих элементов гидравлики: двух гидроцилиндров 1 и 2, расположенных друг против друга на одной оси, штоки, которых жестко соединены муфтой 3; датчика скорости 4, закрепленного к муфте; микроамперметра 5, работающего от датчика скорости и показывающего скорость передвижения штоков; манометров 6 и 7, определяющих давление в рабочих полостях цилиндров; регулятора расхода жидкости 8; распределителя направления жидкости 9; предохранительного клапана 10; масляного насоса 11; напорного золотника 12; редукционного клапана 13. Все элементы смонтированы на металлической станине и соединены между собой медным трубопроводом диаметром 12 мм.

Принцип работы гидростенда заключается в следующем: под действием насоса 11, рабочая жидкость поступает в распределитель потока 9, далее через регулятор расхода жидкости 8 подается в левую полость цилиндра 1, шток которого начинает перемещаться влево, складывая гидроцилиндр 2, при этом вытесняя жидкость с его правой полости. Вытесняемая жидкость сливается в бак с определенным сопротивлением, создаваемым клапаном 12, что создает нагрузку на штоке цилиндра 1, имитируя осевое усилие бурового инструмента.

Величину нагрузки можно регулировать напорным золотником клапана 12, который меняет давление в правой полости гидроцилиндра 2. Манометр 7 определяет это давление. Для компенсации перепада давления между входной и выходной магистралями на регуляторе расхода жидкости служит редукционный клапан 13, подключенный к нему параллельно. Он же предназначен для стравливания лишней жидкости в бак.

Изначально проходная щель регулятора расхода жидкости полностью закрыта, поэтому положение золотника, регулирующего величину открытия щели, необходимо установить в такое положение, чтобы щель была еще закрыта, но при малейшем перемещении в сторону ее открытия она открывалась. Это требует точной настройки регулятора. Величину перемещения золотника фиксирует встроенный в него индикатор часового типа (на схеме не показан), с его помощью щель сначала открывается на 0.1 мм и измеряется скорость штоков, далее она открывается на 0.2 мм и измеряется скорость штоков и т. д. Щель увеличивается до тех пор, пока скорость штоков перестанет увеличиваться. Таким образом выявляется диапазон регулирования испытываемого регулятора, его выходная характеристика, а также (так как золотник перемещается посредством электромагнита ЭМ), необходимое напряжение, при котором золотник устанавливается в начальное положение.

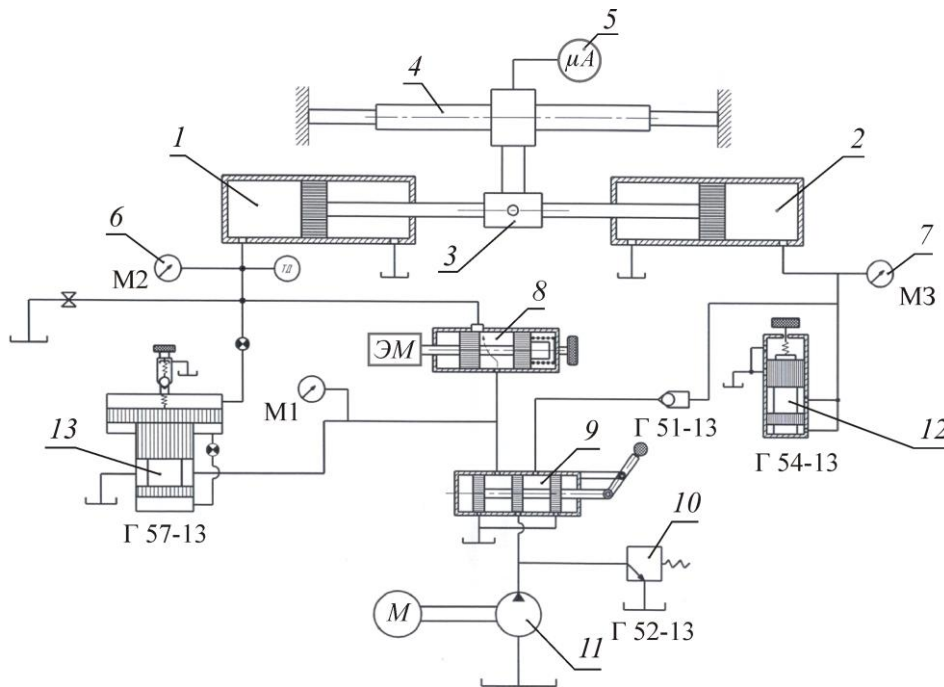


Рис. 1. Упрощенная схема гидростенда

Для исследования гидромоторов и других средств автоматизации приведена более подробная схема гидростенда на рис. 2. Стенд состоит из следующих узлов и элементов автоматизации: двух гидравлических насосов 1 и 2, вращающихся посредством электродвигателя М, предохранительных клапанов Г-52-13, измерительных манометров образцового типа, распределителей жидкости 3, 4, трех редукционных клапанов 5 типа Г-57-13, нагрузочного клапана 6 типа Г-54-13, исследуемого насоса 7, датчика крутящего момента 8, двух исследуемых гидромоторов 9 и 10, ударного механизма 11, регулятора расхода жидкости 12, клапана, перекрывающего канал обратной связи 14, компьютера и осциллографа-самописца.

Возможности представленного стенда позволяют проводить исследования в двух направлениях: 1) анализировать работу спроектированных регуляторов расхода жидкости, информационных устройств осевой нагрузки и крутящего момента, осуществлять их настройку и получать выходные характеристики; 2) отслеживать состояние работы автоматических систем в целом. Гидравлический клапан 14, включающий и отключающий канал обратной связи обеспечивает переключение между двумя направлениями работы стенда.

Принцип работы стенда сводится к следующему. От вращения гидронасосов 1 и 2 посредством электродвигателя рабочая жидкость поступает в гидросистему стенда. Насос 1 обеспечивает работу гидромоторов 9 и 10 через гидравлические распределители жидкости 3 и 4. Насосом 2 обеспечивается работа гидравлического ударника 11.

Режимы работы всех исполнительных механизмов стенда изменяются посредством регулятора расхода жидкости 12. Перемещение золотника регулятора расхода жидкости осуществляется гидравлическим давлением в канале обратной связи, подключенном к напорной магистрали гидромотора 9. Давление в канале обратной связи создает крутящий момент, соответствующий моменту при реальном бурении, измеряемый магнитоупругим датчиком 8. На стенде величину момента можно изменять клапаном 6 посредством создаваемого сопротивления при стравливания масла в бак от насоса 7, за счет чего золотник регулятора переместится влево и уменьшит проходной зазор рабочей жидкости, при этом уменьшится скорость вращения гидромоторов 9 и 10.

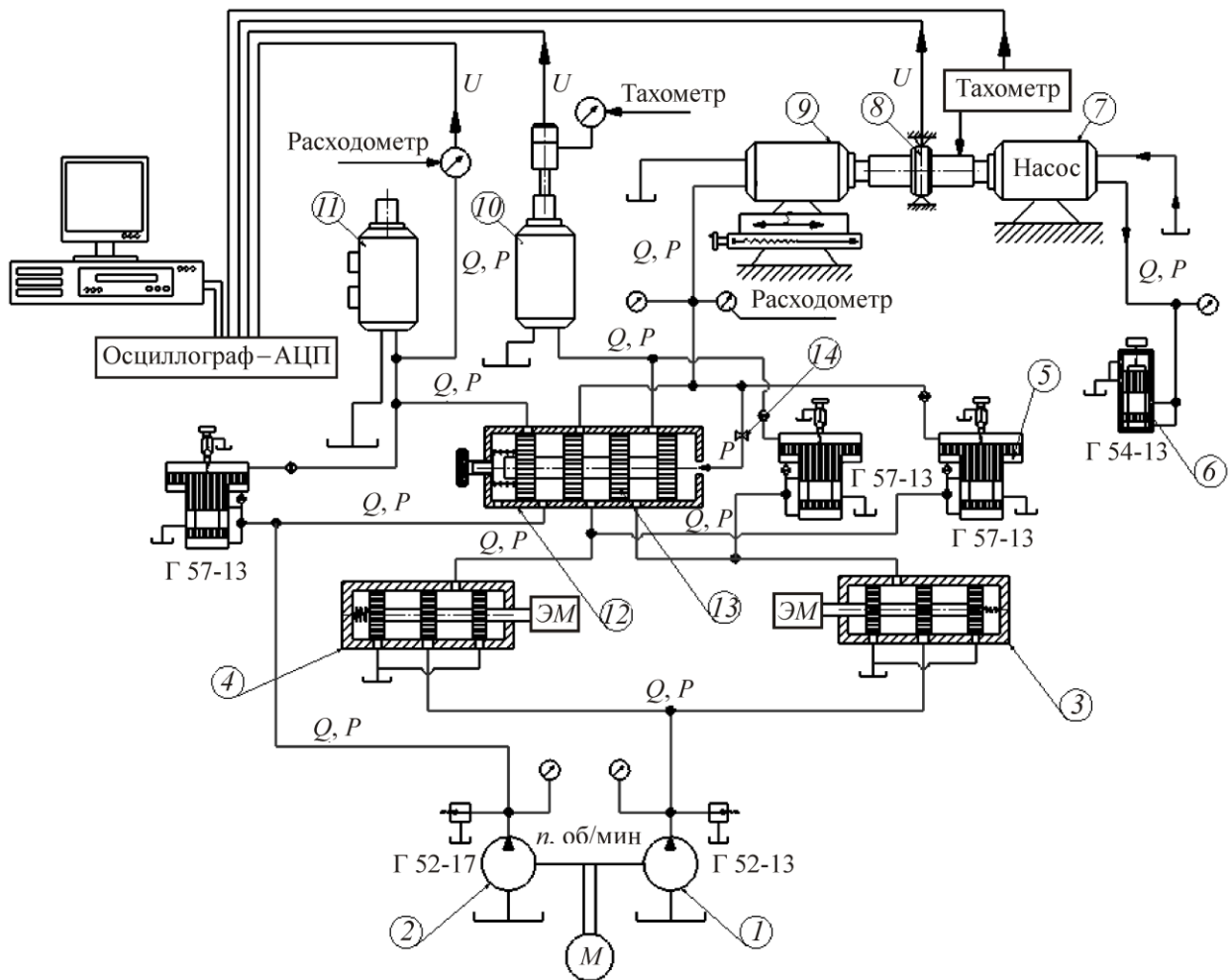


Рис. 2. Схема универсального стенда: *M* — мотор; 1, 2 — масляные насосы; 3, 4 — распределители жидкости; 5 — редукционный клапан; 6 — нагрузочный клапан; 7 — нагрузочный насос; 8 — датчик крутящего момента; 9 — гидромотор вращения бурового инструмента; 10 — гидромотор податчика инструмента; 11 — ударный механизм; 12 — регулятор расхода жидкости; 13 — золотник регулятора

Допуская, что вращение бурового инструмента обеспечивается гидромотором 9, а его подача гидромотором 10, работа автоматической системы при реальном бурении будет рассматриваться следующим образом: перед началом бурения положение золотника 13 регулятора 12 настраивается для бурения на породе определенной крепости. Если в процессе бурения крепость породы, например, увеличивается, что влечет за собой увеличение осевой нагрузки и крутящего момента на инструменте, то гидравлическое давление в канале обратной связи также увеличится так как при этом возрастут силы, необходимые для разрушения породы. Золотник в это время переместится влево, вследствие чего уменьшится скорость вращения инструмента и

скорость его подачи в забой. Таким образом, если продолжать увеличивать давление в канале обратной связи, то золотник регулятора примет положение, когда скорость вращения и подачи инструмента будет минимальной и в то же время откроется проходной канал для рабочей жидкости гидравлического ударника *II*. После уменьшения крепости породы давление в канале обратной связи уменьшится и золотник начнет перемещаться вправо под действием пружины, установленной в регуляторе расхода.

С целью измерения скоростей вращения гидромоторов к ним подключены тахогенераторы, электрические сигналы с которых поступают через USB-осциллограф в компьютер, где происходит их обработка и результаты выводятся на монитор в виде осциллограмм. На рис. 3 представлены выходные зависимости датчика крутящего момента (рис. 3а) и зависимость регулятора расхода жидкости на 8 л/мин (рис. 3б), полученные на стенде.

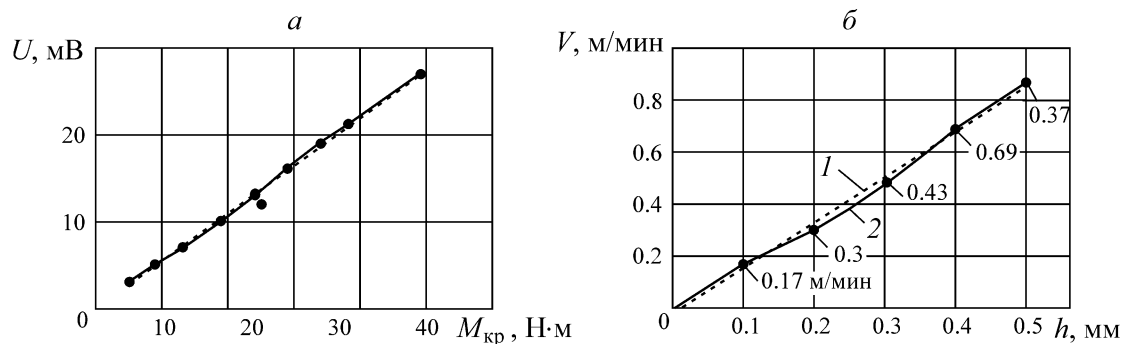


Рис. 3. Результаты исследований средств автоматизации на разработанном стенде: *a* — выходная характеристика датчика крутящего момента; *б* — выходная характеристика регулятора расхода жидкости

Общий вид стенда показан на рис. 4, технические характеристики его основных гидравлических устройств — в таблице.



Рис. 4. Общий вид универсального гидростенда

Технические характеристики стенда и отдельных его гидравлических элементов

Цилиндры	Диаметр $D_{\text{вн}} = 61$ мм	Длина 350 мм	Рабочий ход штока 160 мм	Диаметр штока, 28 мм
Гидромоторы	Тип гироторный	Модель OMS 100	Q_{max} 75 л/мин	$n_{\text{ном}}$ 750 об/мин
Насос	Тип шестеренный	$P_{\text{ном}}$ 50 кгс/см ²	$Q_{\text{ном}}$ 20 л/мин	Марка масла И-20
Габаритные размеры стенда	Длина 1300 мм	Ширина 680 мм	Высота 1500 мм	Вес не более 140 кг
Клапан Г54, клапан Г57	Q_{max} 35 л/мин	Q_{min} 3 л/мин	P_{max} 20 МПа	P_{min} 3 МПа

ВЫВОДЫ

Разработан универсальный стенд для исследования автоматических систем регулирования режимами работ буровых машин, который позволяет проводить настройку отдельных гидравлических приборов, определять динамические характеристики силового цилиндра или гидромотора, коэффициент утечек силового цилиндра и других параметров гидроаппаратуры, испытывать различные регуляторы расхода жидкости, а также выполнять тарировку датчиков, контролируемых основные параметры при бурении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. **Besekersky V. A. and Popov E. P.** The theory of automatic control systems, SPb., Profession, 2003, 752 pp. [**Бесекеерский В. А., Попов Е. П.** Теория систем автоматического управления. — СПб.: Профессия, 2003. — 752 с.]
2. **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.]
3. **Gafiyatullin R. Kh., Ignatiev O. V. et al.** Modes and automation of the rotational drilling process, Moscow, Nedra, 1978, 151 pp. [**Гафиятуллин Р. Х., Игнатъев О. В. и др.** Режимы и автоматизация процесса ударно-вращательного бурения. — М.: Недра, 1978. — 151 с.]
4. **Medvedev I. F.** Drilling modes and selection of drilling machines, Moscow, Nedra, 1986, 220 pp. [**Медведев И. Ф.** Режимы бурения и выбор буровых машин. — М.: Недра, 1986. — 220 с.]
5. **Vasilev V. B.** Design of automatic fluid flow regulator to control hydraulic drill operation modes, Fundamental and Applied Mining Science, 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.]