

ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАШИНЫ, ВАКУУМНАЯ, КОМПРЕССОРНАЯ ТЕХНИКА, ГИДРО- И ПНЕВМОСИСТЕМЫ/HYDRAULIC MACHINES, VACUUM, COMPRESSOR TECHNOLOGY, HYDRAULIC AND PNEUMATIC SYSTEMS

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.18>

ГИДРОМЕХАНИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ И МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ГИДРОПРИВОДА ПОДАЧИ ИНСТРУМЕНТА МОБИЛЬНОЙ БУРОВОЙ МАШИНЫ

Научная статья

Дергачева Л.В.^{1,*}, Ракуленко С.В.², Полешкин М.С.³

¹ ORCID : 0000-0003-1676-9132;

² ORCID : 0000-0001-8293-0305;

³ ORCID : 0000-0002-5364-1106;

^{1,2} Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

³ Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (l.v.gromova[at]mail.ru)

Аннотация

Рассматривается гидромеханическое устройство управления гидроприводом зависимой подачи инструмента от главного движения с функцией мониторинга технологического процесса бурения в реальном времени. Адаптация оригинального гидромеханического устройства к выходному звену объемной гидравлической машины обеспечивает мониторинг в реальном времени кинематических, силовых гидравлических и энергетических характеристик технологического процесса бурения и гидравлической системы в целом. Идентификация основных характеристик, в том числе конструктивных, выполнена на разработанном стенде-модели и позволяет определить рабочие диапазоны функционирования гидромеханического устройства управления в составе мобильной буровой машины.

Ключевые слова: мобильная буровая машина, мониторинг, технология бурения, гидропривод подачи, главное движение инструмента, гидравлический датчик, гидромеханическое устройство управления.

HYDROMECHANICAL DEVICE FOR CONTROLLING AND MONITORING PARAMETERS OF THE HYDRAULIC DRIVE FOR TOOL FEED OF A MOBILE DRILLING MACHINE

Research article

Dergacheva L.V.^{1,*}, Rakulenko S.V.², Poleshkin M.S.³

¹ ORCID : 0000-0003-1676-9132;

² ORCID : 0000-0001-8293-0305;

³ ORCID : 0000-0002-5364-1106;

^{1,2} Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russian Federation

³ Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

* Corresponding author (l.v.gromova[at]mail.ru)

Abstract

Hydromechanical device for controlling the hydraulic drive of dependent tool feed from the main motion with the function of real-time monitoring of the drilling process is studied. Adaptation of the original hydromechanical device to the output link of the positive-displacement machine provides real-time monitoring of kinematic, power hydraulic and energy characteristics of the technological drilling process and the hydraulic system as a whole. Identification of the main characteristics, including structural ones, is performed on the developed model test bench and allows to determine the operating ranges of the hydromechanical control device functioning as part of the mobile drilling machine.

Keywords: mobile drilling machine, monitoring, drilling technology, hydraulic feed drive, main tool movement, hydraulic sensor, hydromechanical control device.

Введение

Сырьевые отрасли промышленности являются определяющим направлением развития Российской экономики, успех которых, в свою очередь, определяется уровнем технологий и техники геолого-разведывательных производств. При этом эффективность технологий, определяется прогрессом в области проектирования новых и совершенствование действующих мобильных буровых машин (МБМ), обеспечивающих технологические процессы разведывательных работ [1].

Действующие технологии построения топографии категорий, глубины и характеристик залегаемых грунтов используют метод проб, периодически поднимаемых на поверхность и обследуемых в дальнейшем в лабораторных условиях. Это требует дополнительных затрат времени и средств. В этих условиях силовые установки (машины), реализующие рабочие движения процесса бурения должны обеспечивать не только технологию бурения, но и мониторинг состояния и характеристик грунтов скважины [2], [3].

Вместе с тем теория резания располагает решениями, устанавливающие связи между силами резания, характеристиками материалов, силовыми и кинематическими характеристиками [4].

Целью исследования является повышение эффективности (производительности) функционирования гидромеханической системы рабочих движений мобильной буровой машины, путем создания гидромеханического устройства управления гидроприводом зависимой подачи инструмента с функцией мониторинга рабочих процессов.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Учитывая особенности поведения приводов рабочих движений буровых машин в условиях изменяющихся внешних воздействий [4], обосновать требования к их характеристикам, повышающим эффективность технологического процесса бурения.

2. Предложить конструктивное решение гидравлического устройства управления с возможностью мониторинга параметров гидропривода подачи инструмента, и реализующего функцию его адаптации по технологической нагрузке [6].

3. Натурным экспериментом на специализированном стенде-модели [4] исследовать регулировочные характеристики контура управления, осуществляемые кинематической связью приводов вращения и подачи инструмента мобильной буровой машины.

Методы и принципы исследования

Применение силового позиционного гидропривода, с возможностью мониторинга его параметров в процессе бурения, позволяет решить обратную задачу: по силовым, кинематическим и энергетическим характеристикам, осциллографируемым в реальном времени и пространстве — идентифицировать характеристики и глубину залегания грунтов по глубине скважины [5], [6], [7].

Применение оригинального устройства — многопараметрического гидромеханического датчика (ГМД), имеющий кинематическую связь с механизмом вращения инструмента, позволяет решить задачу контроля параметров техпроцесса [8], [9], [10], [11].

На рис. 1 приведена функциональная схема применения датчика в составе гидромеханического устройства управления (ГМУУ), при работе с двухдвигательным ротационным гидроприводом (ГП) МБМ [9].

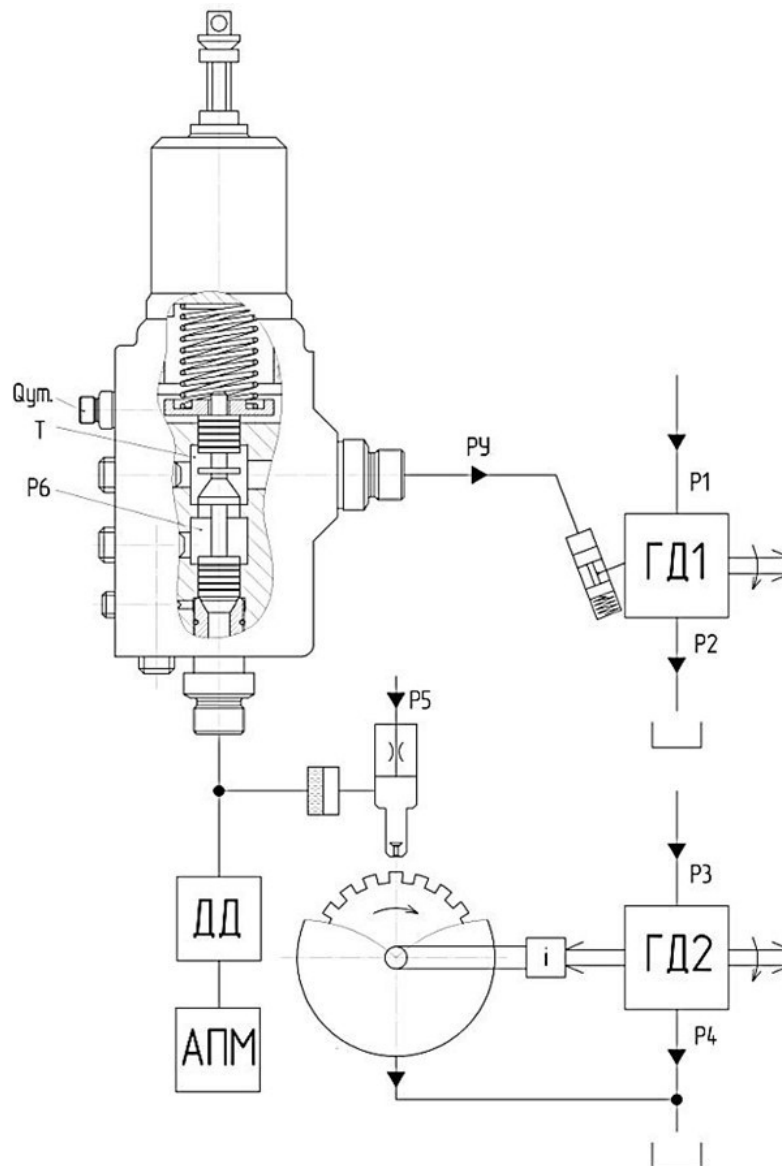


Рисунок 1 - Функциональная схема ГМУУ:

ГД1 – гидродвигатель движения подачи; ГД2 – гидродвигатель главного движения; ГМД – гидромеханический датчик;
 ГУК – гидроуправляемый клапан; ДД – датчик давления; АПМ – аппаратно-программный модуль

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.18.1>

ГМД позволяет обеспечить контроль кинематических и гидравлических параметров: давление и частоту вращения гидродвигателя вращения инструмента ГД2. Поворотный диск ГМД, кинематически связан с валом гидродвигателя через понижающий двухступенчатый планетарный редуктор с отношением $i=10$ (см. рис. 2). Гидродвигатель обеспечивает перемещение рабочего органа через кинематическую цепь далее. Рабочая жидкость (РЖ), после дросселя, поступает к соплу и параллельно к датчику давления ДД и гидроуправляемому клапану ГУК [12], [13].

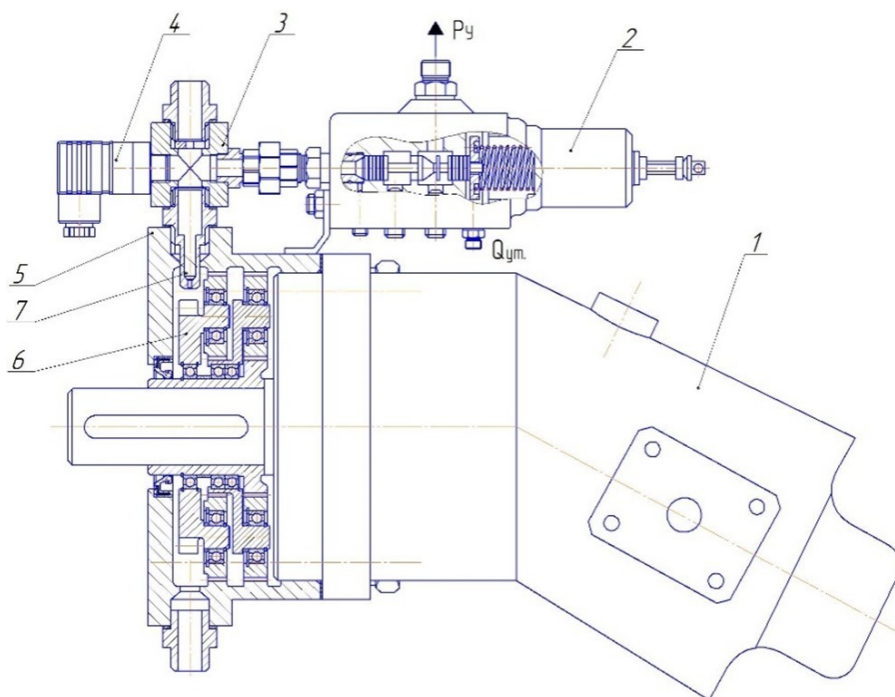


Рисунок 2 - Модульный монтаж ГМУУ на гидродвигателе:

1 – гидродвигатель; 2 – гидроуправляемый клапан ГУК; 3 – гидромеханический датчик ГМД; 4 – датчик давления ДД;
5 – планетарный двухступенчатый редуктор; 6 – поворотный диск ГМД; 7 – сопло ГМД

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.18.2>

При вращении диска ГМД, попеременное перекрытие потока РЖ, вытекающей из сопла, приводит к пульсациям давления P_5 между соплом и дросселем, которое регистрируется датчиком давления ДД [12], [13], [14].

При этом датчик преобразует давление P_6 (см. рис. 1) РЖ, подводимой от напорной полости гидродвигателя, в дискретные электрические сигналы, после преобразования, позволяющие оценить нагрузку и перемещение привода главного движения. При этом частота следования импульсных сигналов связана с частотой, и зависит от скорости вращения диска модулятора, а их количество определяет перемещение рабочего органа [8], [17].

В отличие от схмотехнического решения [6], [18], предлагается использовать датчик не только как регистратор уровня сигнала, но и как устройство управления, формирующее амплитудно-импульсный сигнал по давлению. Направляя генерируемый ГМД сигнал для переключения золотника гидроуправляемого клапана ГУКа, обеспечивается регулирование блока управления гидродвигателя ГД1, движения подачи инструмента. Клапан воспринимает сигналы по давлению, подводимые под торец его золотника, при этом золотник перемещается в зависимости от количества импульсов и величины их амплитуды, открывая при этом проточную часть клапана, которая связана с блоком регулятора гидродвигателя ГД1.

В рассматриваемом решении, отличительной особенностью является крепление датчика непосредственно на вал гидродвигателя [4], что целесообразно применять для аксиально-поршневых гидромашин с наклонным блоком. При этом вал гидродвигателя удлиняется конструктивно или с помощью переходника для последующего крепления механизма вращения.

В схеме стенда-модели (см. рис. 3, внешний вид – рис. 4) для исследования ГМУУ используется регулируемый аксиально-поршневой гидродвигатель ГД1 с позитивной настройкой, отвечающий за моделирование процесса работы привода подачи инструмента. Его конструкция позволяет изменять крутящий момент и частоту вращения на валу пропорционально сигналу, поступающего на регулятор.

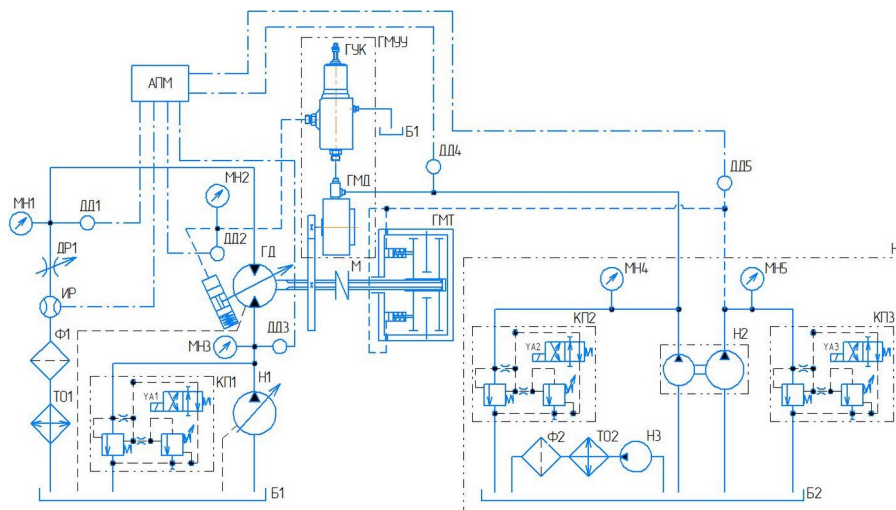


Рисунок 3 - Гидрокинематическая схема станда-модели для исследования ГМУУ:

АПМ – аппаратно-программный модуль; МН1-МН5 – манометры; ДД1-ДД5 – датчик давления; ГД – гидродвигатель; Ф1, Ф2 – фильтр сливной; ТО1, ТО2 – теплообменный аппарат; Н1 – насос гидравлический регулируемый; Н2 – насосный агрегат; Н3 – насос перекачивающий; М – муфта; ГМД – гидромеханический датчик; ГУК – клапан гидроуправляемый; ГМУУ – гидромеханическое устройство управления; ДР1 – дроссель; ГМТ – гидравлическая муфта-тормоз; НУ – насосная установка; КП1-КП3 – клапан давления; РР – измеритель расхода; Б1, Б2 – бак гидравлический

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.18.3>

В исходном положении, при отсутствии давления управления P_y (см. рис.1), ГД1 находится на минимальном рабочем объеме V_{min} , обеспечивая режим максимальной частоты вращения n_{min} и минимального крутящего момента M_{min} . При увеличении давления управления P_y , рабочий объем ГД1 q пропорционально увеличивается, вызывая плавное уменьшения частоты вращения n и увеличение крутящего момента M . Достигнув максимального рабочего объема V_{max} ГД1 обеспечивает режим минимальной частоты вращения n_{min} и максимального крутящего момента M_{max} .

Нагрузочным устройством ГД1 на стенде является муфта-тормоз МТ с гидравлическим управлением от насосной установки НУ, которая позволяет создавать постоянные или изменяемые по заданному закону статические нагрузки на вал двигателя имитируя нагрузки, возникающие при вращении инструмента на заданных категориях грунтов (см. рис. 3) [4], [8], [15].

АИК представленный на рис. 4 включает в себя: ЦАП-АЦП поз. 8, источник питания поз. 9; блок контроля температуры и частоты вращения поз. 10; компьютер поз. 11. Он представляет автоматизированную систему, обеспечивающую управление процессом испытаний, сбор и обработку результатов измерений.



Рисунок 4 - Общий вид станда для исследования ГМС подачи бурового инструмента:

1 – стенд КИ-4815М; 2 – гидронасос регулируемый НАРФ 63/22; 3 – клапан давления; 4 – гидравлическая муфта-тормоз; 5 – насосная установка Г48-32М; 6 – гидродвигатель регулируемый МГ112/32; 7 – контрольно-измерительная аппаратура; 8 – ЦАП-АЦП «L-CardE20-10»; 9 – источник питания; 10 – блок контроля температуры и частоты вращения; 11 – компьютер

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.18.4>

ЦАП-АЦП поз. 8 обеспечивает программную поддержку эксперимента, корректную обработку измерений и визуализацию полученных результатов с использованием пакета PowerGraph v3.3.

АИК позволяет осуществлять преобразование аналоговых сигналов ГМД в цифровую последовательность для дальнейшей компьютерной обработки.

Основные результаты

При исследовании рабочих диапазонов работы датчика было выявлено, что обороты датчика не должны превышать 12,5 рад/с, для снижения оборотов диска датчика был спроектирован специальный двухступенчатый планетарный редуктор (см. рис. 2).

ГМД в составе стенда получает вращение от гидродвигателя ГД1 через механическую передачу эквивалентную по передаточному числу планетарному редуктору ГМУУ, установленного на приводной вал ГД1. Для реализации конструкции планетарного редуктора, была разработана программа расчета, позволяющая получить его геометрические параметры, для разных типоразмеров привода [19].

Механическая часть стенда, гидравлическая силовая и управляющая подсистемы позволяют исследовать гидромеханическую систему подачи МБМ в диапазонах параметров, представленных в табл.1.

Таблица 1 - Диапазоны параметров при исследовании ГМУУ

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.18.5>

№ п/п	Параметр	Обозначение	Диапазон регулирования	Ед. измерения	Устройство контроля
1	Диаметр сопла	$d_{сп}$	0,5-1,2	мм	Калибр-пробка
2	Дроссельной шайбы	$d_{др}$	0,8-2	мм	Калибр-пробка
3	Зазор между соплом и модулятором	y_z	0,2 - 1	мм	Индикатор часового типа
4	Частота вращения	$n_{гмд}$	5-60	об/мин	Датчик частоты вращения
5	Расход через ГМД	$Q_{гмд}$	0,5-20	л/мин	Расходомер, мерный бак
6	Давление в ГМД	$p_{гмд}$	0,5-5	МПа	Датчик давления

График обработки экспериментальных данных, представленный на рис. 5 поясняет отклик по амплитуде импульсов давления ГМД при изменении скорости вращения гидродвигателя ГД1, в диапазоне 45-125 рад/с. Данные получены при обработке результатов испытаний, для сопел с диаметрами $d_{сп} = 2,4,6$ мм [5].

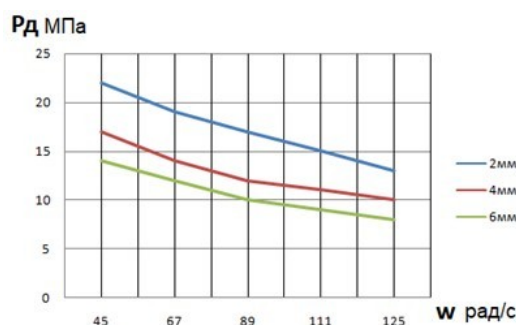


Рисунок 5 - Зависимость величины импульсов P_d от скорости вращения ω ГД1

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.18.6>

Анализ полученных данных, показал, что изменение давления P_d носит практически линейный характер и снижается по мере увеличения скорости вращения гидромотора ω (рис. 5), что связано с нестационарным режимом истечения рабочей жидкости через элемент типа сопло-заслонка.

Построенная характеристика на рис. 6 носит линейный характер, и поясняет величину падения максимального давления управления с 1,7 до 1,4 МПа при изменении жесткость пружины клапана ГУК.

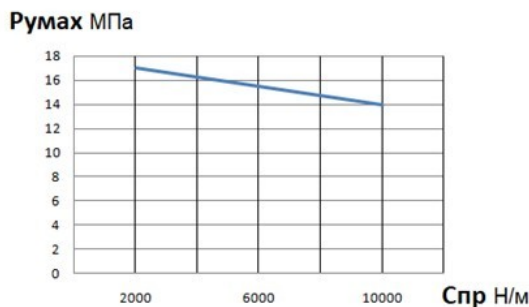


Рисунок 6 - Зависимость изменения максимального давления управления $P_{у.макс}$ от величины жесткости пружины ГУК
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.18.7>

Исследовали 4 режима работы двигателя вращения инструмента при ступенчатом нагружении и соответственно изменении угловой скорости ω на: 22 рад/с; 49 рад/с; 71 рад/с и 85 рад/с. Полученная зависимость, по данным эксперимента, представлена на рис. 7.

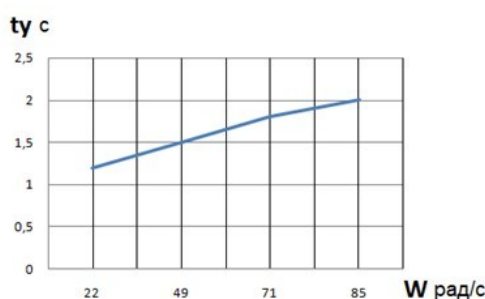


Рисунок 7 - Зависимость t_y времени отклика ГМУУ от изменения угловой скорости вращения вала гидродвигателя ГД1
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.18.8>

Поскольку ГМУУ входит в составе гидросистемы МБМ, его протяженность оказывает особое влияние на качество и время переходных процессов. С целью, определения степени влияния на вышеуказанные параметры, произведены исследования времени изменения давления в линии управления при варьировании ее объема (см. рис. 8).

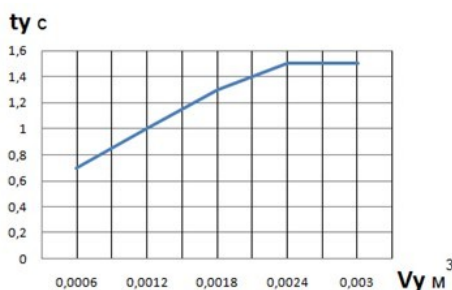


Рисунок 8 - Зависимость t_y времени отклика ГМУУ от величины объема V_y в гидравлической линии управления
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.18.9>

Результаты позволяют определить критическое значение объема гидролинии $V_y = 0,0024$ м³, свыше которого время реакции ГМУУ не превышает 1,5 с, что обусловлено волновыми процессами, протекающими по трубопроводу, а также их параметрами и свойствами.

Заключение

В результате выполненных исследований, разработано ГМУУ позволяющее обеспечить мониторинг кинематических, силовых гидравлических и энергетических параметров гидропривода. Применение устройства, сочетающего многопараметрический датчик и гидроуправляемый клапан, обеспечивает согласование рабочих движений (главного и подачи) при изменяющейся технологической нагрузке.

Эффективность предлагаемого технического решения, проверена в ходе испытаний на разработанном стенде-модели, методом экспериментальной идентификации определены его характеристики для четырех режимов работы гидропривода: 22 рад/с; 49 рад/с; 71 рад/с и 85 рад/с. При этом динамическая характеристика отклика на изменение

нагрузки носит линейный характер и возрастает пропорционально частоте вращения гидродвигателя с 1,2 с до 2 с, что удовлетворяет требованиям регулирования системы.

Результаты применения амплитудно-частотного способа управления сигналом от многофункционального ГМД на валу гидродвигателя, показали, что чувствительность и качество процесса объемного регулирования гидропривода возрастает в среднем на 17–22%, и обеспечивает мониторинг состояния характеристик грунтов скважины в реальном времени, что сократит затраты времени и средств на проведение буровых работ.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Фазылыязнов Р.Р., Научно-производственное объединение
«Государственный институт прикладной оптики», Казань
Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.18.10>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Fazilzyanov R.R., Scientific and Production Association
«State Institute of Applied Optics», Kazan Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.156.18.10>

Список литературы / References

1. Смашов Н.Ж. Обоснование и разработка технологии и технических средств для бурения направленных геологоразведочных скважин с использованием малогабаритных забойных гидравлических двигателей: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Смашов Нурлан Жаксобекович. — Москва: МГРИ-РГГРУ, 2017.
2. Алексеев О.О. Будущее бурения: преимущества автоматизированных буровых установок / О.О. Алексеев, Ф.Х. Мухаметов Ф.Х., П.Э. Востриков [и др.] // Бурение и нефть / Бурнефть. — Москва, 2023. — № 7-8.
3. Сидоренко В.С. Синтез быстродействующих позиционирующих гидромеханических устройств / В.С. Сидоренко // СТИН. — 2003. — № 8. — С. 16–20.
4. Ракуленко С.В. Гидропривод зависимой подачи инструмента (на примере мобильной буровой машины): дис. ... канд. техн. наук / Ракуленко Станислав Вадимович. — Ростов-на-Дону, 2019.
5. Грищенко В.И. Моделирование гидравлической системы с зависимой подачей инструмента мобильной буровой установки. Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика / В.И. Грищенко, В.С. Сидоренко, С.В. Ракуленко [и др.] // Современное состояние и перспективы развития — 2016: сб. науч. тр. IX междунар. науч.-техн. конф. — Санкт-Петербург: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. — С. 365–375.
6. Грищенко В.И. Гидропривод рабочих движений мобильной буровой установки с функцией мониторинга технологического процесса бурения / В.И. Грищенко, С.В. Ракуленко, Л.В. Дергачева // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — Тула: Из-во ТулГУ, 2024. — Вып.1. — С. 427–435.
7. Дымочкин Д.Д. Исследование гидравлического контура управления адаптивного гидропривода подачи инструмента мобильной буровой машины / Д.Д. Дымочкин, В.С. Сидоренко, В.И. Грищенко [и др.] // Вестник Донского государственного технического университета. — 2019. — Т. 19. — № 1. — С. 13–23.
8. Сидоренко В.С. Адаптивный гидропривод с объемным регулированием подачи инструмента технологической машины / В.С. Сидоренко, В.И. Грищенко, С.В. Ракуленко [и др.] // Вестник Донского государственного технического университета. — 2017. — Т. 17. — № 2 (89). — С. 88–98.
9. Sidorenko V.S. Research of Automated Positional Hydrodrive with Hydraulic Control Circuit / V.S. Sidorenko, M.S. Poleshkin, S.V. Rakulenko // Procedia Engineering. — 2017. — Vol. 206. — P. 340–346.
10. Дергачева Л.В. Факторы, обуславливающий разрушение рабочего колеса насоса и мероприятия по их устранению / Л.В. Дергачева // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. — 2023.
11. Konovalov A. Electronic technical process system at transport engineering enterprises, increasing efficiency and occupational safety / A. Konovalov, L.V. Dergacheva, I. Otcheskiy // Lecture Notes in Networks and Systems. — 2022. — Vol. 509. — P. 105–114. — DOI: 10.1007/978-3-031-11058-0_11.
12. Рудиков Д.А. Безопасность гидравлического оборудования объектов нефтепродуктообеспечения / Д.А. Рудиков // Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России. — Ростов-на-Дону, 2020. — С. 217–220.
13. Пат. 2538071 Российская федерация. Гидравлический датчик / Сидоренко В.С., Ле Чунг Киен, Ракуленко С.В. — заявл. 7.06.2013; опубл. 10.01.2015, Бюл. №1.
14. Дергачева Л.В. Износ рабочего колеса насоса: причины, последствия и пути решения / Л.В. Дергачева // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — Тула: Из-во ТулГУ, 2024. — Вып. 1. — С. 412–418.
15. Рудиков Д.А. Факторы и причины возникновения и развития аварий на объектах нефтепродуктообеспечения / Д.А. Рудиков, А.В. Журавлев, С.Н. Холодова // Безопасность техногенных и природных систем. — 2019 — № 1. — С. 28–32.
16. Rakulenko S.V. Adaptive feed drive of a mobile machine with hydraulic pump and motor control circuit / S.V. Rakulenko, V.I. Grishchenko, M.S. Poleshkin // Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2021). ICIE: International Conference on Industrial Engineering / Ed. by A.A. Radionov, V.R. Gasiyarov. — Chelyabinsk, 2022. — P. 761–769. — DOI: 10.1007/978-3-030-85230-6_90.
17. Grishchenko V.I. Amplitude—frequency method of control of a mobile drilling machine with hydraulic drive with dependent tool advance / V.I. Grishchenko, S.V. Rakulenko, M.S. Poleshkin // Proceedings of the 4th International conference

on industrial engineering ICIE 2018: Lecture notes in mechanical engineering, Moscow, 15–18 may 2018 года. — Moscow: Springer International Publishing, 2019. — P. 331–339. — DOI: 10.1007/978-3-319-95630-5_36. — EDN: SABGPF.

18. Sirotenko A.N. Dependent twin-engine hydraulic drive of the drilling rig with a mechano-hydraulic variable pump control circuit / A.N. Sirotenko, S.V. Rakulenko, V.I. Grishchenko [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: 16, Rostov-on-Don, September 11–13, 2020. — Rostov-on-Don, 2021. — P. 012088. — DOI: 10.1088/1757-899X/1029/1/012088. — EDN: UEESMM.

19. Геометрический расчёт планетарной цилиндрической зубчатой передачи Джеймса с одновенцовыми сателлитами. Приложение графического редактора «Системы трехмерного моделирования КОМПАС — 3D» (Аскон).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Smashov N.Zh. Obosnovanie i razrabotka tehnologii i tehnikeskikh sredstv dlja burenija napravlennykh geologorazvedochnykh skvazhin s ispol'zovaniem malogabaritnykh zabornykh gidravlicheskh dvigatelej [Substantiation and development of technology and technical means for drilling directional geological exploration wells using small-sized downhole hydraulic motors]: abst. diss. ... PhD in Technical Sciences / Smashov Nurlan Zhaksibekovich. — Moscow: MGRI-RGGRU, 2017. [in Russian]

2. Alekseev O.O. Budushhee burenija: preimushhestva avtomatizirovannykh burovyykh ustanovok [The future of drilling: advantages of automated drilling rigs] / O.O. Alekseev, F.H. Muhametov F.H., P.Je, Vostrikov [et al.] // Burenie i nef't' [Drilling and Oil] / Burneft. — Moscow, 2023. — № 7–8. [in Russian]

3. Sidorenko V.S. Sintez bystrodejstvujushhih pozicionirujushhih gidromekhanicheskikh ustrojstv [Synthesis of fast positioning hydromechanical devices] / V.S. Sidorenko // STIN. — 2003. — № 8. — P. 16–20. [in Russian]

4. Rakulenko S.V. Gidroprivod zavisimoy podachi instrumenta (na primere mobil'noj burovoj mashiny) [Hydraulic drive of dependent tool feed (on the example of a mobile drilling machine)]: diss. ... PhD in Technical Sciences / Rakulenko Stanislav Vadimovich. — Rostov-on-Don, 2019. [in Russian]

5. Grishhenko V.I. Modelirovanie gidravlicheskoj sistemy s zavisimoy podachej instrumenta mobil'noj burovoj ustanovki. Gidravlicheskie mashiny, gidroprivody i gidropnevmootomatika [Modelling of the hydraulic system with the dependent tool feeding of the mobile drilling rig. Hydraulic machines, hydraulic drives and hydropneumatic automatics] / V.I. Grishhenko, V.S. Sidorenko, S.V. Rakulenko [et al.] // Sovremennoe sostojanie i perspektivy razvitiya — 2016: sb. nauch. tr. IX mezhdunar. nauch.-tehn. konf. [Modern state and prospects of development — 2016: collection of scientific articles of IX International Scientific and Technical Conference] — St. Petersburg: Publishing House of Polytechnic University, 2016. — P. 365–375. [in Russian]

6. Grishhenko V.I. Gidroprivod rabochih dvizhenij mobil'noj burovoj ustanovki s funkciej monitoringa tehnologicheskogo processa burenija [Hydraulic drive of working movements of a mobile drilling rig with the function of monitoring the technological process of drilling] / V.I. Grishhenko, S.V. Rakulenko, L.V. Dergacheva // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki [Proceedings of Tula State University. Technical Sciences]. — Tula: Publishing house of Tula State University, 2024. — Iss.1. — P. 427–435. [in Russian]

7. Dymochkin D.D. Issledovanie gidravlicheskogo kontura upravlenija adaptivnogo gidroprivoda podachi instrumenta mobil'noj burovoj mashiny [Study of the hydraulic control circuit of the adaptive hydraulic drive of the tool feed of the mobile drilling machine] / D.D. Dymochkin, V.S. Sidorenko, V.I. Grishhenko [et al.] // Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta [Bulletin of Don State Technical University]. — 2019. — Vol. 19. — № 1. — P. 13–23. [in Russian]

8. Sidorenko V.S. Adaptivnyj gidroprivod s ob'emnym regulirovanijem podachi instrumenta tehnologicheskoy mashiny [Adaptive hydraulic drive with volumetric regulation of the tool feed of the technological machine] / V.S. Sidorenko, V.I. Grishhenko, S.V. Rakulenko [et al.] // Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta [Bulletin of Don State Technical University]. — 2017. — Vol. 17. — № 2 (89). — P. 88–98. [in Russian]

9. Sidorenko V.S. Research of Automated Positional Hydrodrive with Hydraulic Control Circuit / V.S. Sidorenko, M.S. Poleshkin, S.V. Rakulenko // Procedia Engineering. — 2017. — Vol. 206. — P. 340–346.

10. Dergacheva L.V. Faktory, obuslavlivajushhij razrushenie rabocheho kola nasosa i meroprijatija po ih ustraneniu [Factors causing the destruction of the pump impeller and measures for their elimination] / L.V. Dergacheva // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshhenija [Proceedings of Rostov State University of Railway Transport]. — 2023. [in Russian]

11. Konovalov A. Electronic technical process system at transport engineering enterprises, increasing efficiency and occupational safety / A. Konovalov, L.V. Dergacheva, I. Otcheskiy // Lecture Notes in Networks and Systems. — 2022. — Vol. 509. — P. 105–114. — DOI: 10.1007/978-3-031-11058-0_11.

12. Rudikov D.A. Bezopasnost' gidravlicheskogo oborudovanija ob'ektov nefteproduktobespechenija [Safety of hydraulic equipment of oil product supply facilities] / D.A. Rudikov // Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya transporta, promyshlennosti i jekonomiki Rossii [Topical problems and prospects of development of transport, industry and economy of Russia]. — Rostov-on-Don, 2020. — P. 217–220. [in Russian]

13. Pat. 2538071 Rossijskaja federacija. Gidravlicheskij datchik [Pat. 2538071 Russian Federation. Hydraulic sensor] / Sidorenko V.S., Le Chung Kien, Rakulenko S.V. — appl.7.06.2013; publ. 10.01.2015, Bull. №1. [in Russian]

14. Dergacheva L.V. Iznos rabocheho kola nasosa: prichiny, posledstviya i puti reshenija [Pump impeller wear: causes, consequences and solutions] / L.V. Dergacheva // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tehnicheskie nauki [Proceedings of Tula State University. Technical Sciences]. — Tula: Publishing House TulSU, 2024. — Iss. 1. — P. 412–418. [in Russian]

15. Rudikov D.A. Faktory i prichiny vozniknovenija i razvitiya avarij na ob'ektah nefteproduktobespechenija [Factors and causes of emergence and development of accidents at oil product supply facilities] / D.A. Rudikov, A.V. Zhuravlev, S.N.

Holodova // Bezopasnost' tehnogennyh i prirodnyh sistem [Safety of technogenic and natural systems // Safety of technogenic and natural systems]. — 2019 — № 1. — P. 28–32. [in Russian]

16. Rakulenko S.V. Adaptive feed drive of a mobile machine with hydraulic pump and motor control circuit / S.V. Rakulenko, V.I. Grishchenko, M.S. Poleshkin // Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering (ICIE 2021). ICIE: International Conference on Industrial Engineering / Ed. by A.A. Radionov, V.R. Gasiyarov. — Chelyabinsk, 2022. — P. 761–769. — DOI: 10.1007/978-3-030-85230-6_90.

17. Grishchenko V.I. Amplitude—frequency method of control of a mobile drilling machine with hydraulic drive with dependent tool advance / V.I. Grishchenko, S.V. Rakulenko, M.S. Poleshkin // Proceedings of the 4th International conference on industrial engineering ICIE 2018: Lecture notes in mechanical engineering, Moscow, 15–18 may 2018 года. — Moscow: Springer International Publishing, 2019. — P. 331–339. — DOI: 10.1007/978-3-319-95630-5_36. — EDN: SABGPF.

18. Sirotenko A.N. Dependent twin-engine hydraulic drive of the drilling rig with a mechano-hydraulic variable pump control circuit / A.N. Sirotenko, S.V. Rakulenko, V.I. Grishchenko [et al.] // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: 16, Rostov-on-Don, September 11-13, 2020. — Rostov-on-Don, 2021. — P. 012088. — DOI: 10.1088/1757-899X/1029/1/012088. — EDN: UEESMM.

19. Geometricheskij raschjot planetarnoj cilindricheskoj zubchatoj peredachi Dzhejmsa s odnovencovymi satellitami. Prilozhenie graficheskogo redaktora «Sistemy trehmernogo modelirovanija KOMPAS — 3D» (Askon) [Geometrical calculation of planetary cylindrical James gear with single spur satellites. Application of the graphic editor 'KOMPAS — 3D' (Ascon)]. [in Russian]