

# Определение эффективности работы забойного компенсатора колебаний давления бурового раствора на лабораторном стенде

**Т.Н. Миннивалеев**

к.т.н., доцент  
timxn@yandex.ru

Филиал ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Октябрьский, Россия

**Циркуляция бурового раствора осуществляется поршневыми буровыми насосами, являющимися источниками неравномерного движения жидкости в бурильной колонне. Колебания расхода и давления промывочной жидкости приводят к повышению динамичности бурильного инструмента, преждевременному износу и нарушению режима работы долота; нарушению герметичности пласта; неустойчивой работе и отказам забойных двигателей; уменьшению срока службы деталей насоса; нагнетательная линия находится под влиянием высокого давления со значительной величиной его колебания. Эти факторы приводят к непредвиденным негативным последствиям. В статье представлен разработанный забойный гидромеханический компенсатор колебаний давления промывочной жидкости, устанавливаемый в компоновку низа бурильной колонны, приводится описание лабораторного стенда для его испытаний и их результаты.**

**Материалы и методы**

Для решения поставленных задач использовались основные законы теоретической механики, гидромеханики, аналитические и экспериментальные методы. Испытательный стенд.

**Ключевые слова**

скважина, буровой насос, промывочная жидкость, колебания давления, забойный гидромеханический компенсатор, стендовые исследования, амплитуда, датчик давления

Бурение нефтегазовых скважин является сложным процессом, сопровождающимся неизбежным возникновением колебательных процессов бурильного инструмента и промывочной жидкости, которые, в свою очередь, оказывают существенное влияние на технико-экономические показатели бурения в целом [1, 2, 3, 4].

В виду конструктивных особенностей, буровой поршневой насос является источником интенсивных колебаний расхода и давления промывочной жидкости [2, 4]. В условиях, когда средний уровень давления промывочной жидкости достигает 10 МПа и более, неравномерность ее движения становится причиной не только колебаний давления в гидросистеме, но и дополнительной раскачки колонны бурильных труб с той же частотой [7]. Упругие волны в столбе промывочной жидкости вызывают колебания угловой скорости, гидравлической силы, момента и мощности на валу забойного двигателя, возбуждающие продольные и крутильные колебания забойного двигателя и всего бурильного инструмента [2]. Большая неравномерность частоты вращения вала приводит к тому, что сильно сужается область устойчивой работы забойных двигателей в зоне низких частот вращения, вследствие чего имеют место частые остановки забойных двигателей, при повышенной нагрузке на долото и особенно при бурении в упруго-пластичных породах.

Для снижения неравномерности расхода и давления промывочной жидкости в

процессе бурения был разработан забойный гидромеханический компенсатор, представленный на рис. 1 [5].

Компенсатор устанавливается в компоновку бурильного инструмента посредством переводников и замковых резьб 16 и 17. Пульсирующая жидкость поступает в компенсатор, давит на поршни 5, 6, 7 и тем самым сжимает пружину в подпоршневом пространстве, соединенном с затрубьем сквозными каналами 8, 9, 10. Происходит снижение амплитуды колебаний давления промывочной жидкости в полости бурильного инструмента.

Для проведения лабораторных испытаний разработанного забойного гидромеханического компенсатора создан лабораторный стенд на кафедре нефтепромысловых машин и оборудования Филиала ФГБОУ ВО УГНТУ в г. Октябрьском (рис. 2).

Лабораторный стенд представляет собой замкнутую систему циркуляции, состоящую из емкости 1, заполняемой жидкостью, бурового насоса 9 МГр 2, обеспечивающего подачу жидкости, гидромеханического компенсатора 3, датчика давления 6, запорных устройств 5 и 9, шлюза передачи данных 7 и ЭВМ 8.

Целью лабораторных исследований является:

- определение величины амплитуды давления, возникающей в трубопроводе при работе бурового насоса в момент нагнетания;
- оценка степени гашения пульсации давления гидромеханическим компенсатором при работе бурового насоса.

Стенд позволяет исследовать работу гидромеханического компенсатора. Буровой насос 2 нагнетает жидкость из емкости в циркуляционную систему. Жидкость проходит через гидромеханический компенсатор, где

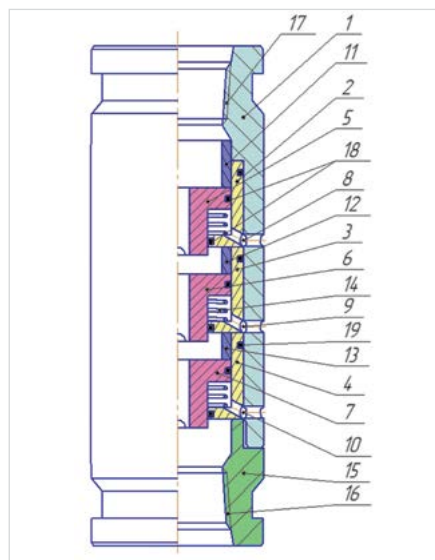


Рис. 1 — Забойный гидромеханический компенсатор: 1 — корпус; 2, 3, 4 — перегородки; 5, 6, 7 — поршни; 8, 9, 10 — каналы связи с затрубьем; 11, 12, 13 — втулки; 14 — пружины; 15 — переводник; 16, 17 — присоединительные резьбы; 18, 19 — уплотнения

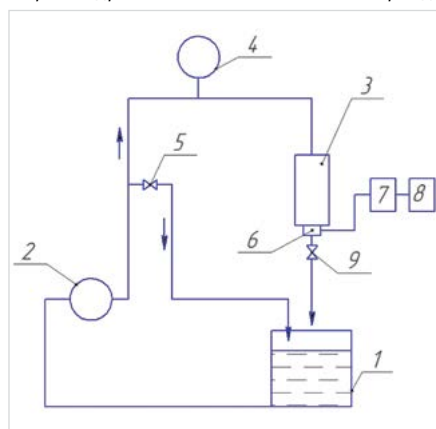


Рис. 2 — Схема стенда для гидравлических испытаний гидромеханического компенсатора колебаний давления жидкости: 1 — емкость; 2 — буровой насос 9 МГр; 3 — гидромеханический компенсатор; 4 — манометр; 5, 9 — запорное устройство; 6 — датчик давления; 7 — шлюз передачи данных GW-485.01(конвертер RS-232/RS-485); 8 — ЭВМ

происходит гашение колебаний давления, далее жидкость снова поступает в емкость. Посредством датчика давления производится замер колебаний давления жидкости на выходе из компенсатора. Посредством запорного устройства 5 можно изменять расход жидкости, проходящей через компенсатор. Посредством запорного устройства 9 в гидросистеме устанавливалось необходимое рабочее давление.

Удалив из корпуса компенсатора демпфирующие элементы, аналогичным образом производится замер колебаний давления циркулирующей жидкости.

При разработке измерительной части стенда исходили из следующих положений. При работе бурильного инструмента возникают пульсации давления, и дискретные замеры давления через большие промежутки времени не могут характеризовать процесс, вследствие чего необходима значительная частота опроса давления в течение определенного периода времени.

Для осуществления регистрации измеряемого во времени давления в гидросистеме лабораторного стенда необходимо, чтобы измерительная система датчика давления обладала малой инерционностью [6]. В противном случае она будет искажать измерения. Данному условию удовлетворяют тензотрические датчики, имеющие частоту собственных колебаний в пределах 330–1000 Гц.

Принцип работы тензотрических измерительных преобразователей давления заключается в изменении электрического сопротивления проводников, закрепленных на упругом элементе (мембране), в зависимости от их деформаций, вызванных давлением рабочей среды.



Рис. 3 — Преобразователь давления измерительный ПДИ

В отличие от аналоговых амплитудно-моделированных сигналов, цифровые передаются на значительные расстояния практически без помех. Помимо возможности передачи информации без помех, цифровые сигналы обладают и другими преимуществами перед аналоговыми: простота запоминания, удобство использования, возможность применения ЭВМ для обработки больших массивов информации [6]. Поэтому целесообразно преобразовывать аналоговые сигналы в цифровые как можно раньше.

Для регистрации изменения давления жидкости в процессе проведения лабораторных исследований были использованы датчики типа ПДИ-01 (рис. 3). В лабораторной установке использованы датчики с верхним пределом 16 МПа. Датчик подключался к компьютеру через шлюз передачи данных GW-485.01 (конвертер RS-232/RS-485), на котором запускается программа регистрации Manograph.

Наименование параметра	Значение параметра
1. Верхний предел измерений избыточного давления (ВПИ)	16 МПа
2. Пределы погрешности, % от верхнего предела измерений	±0,25
3. Дискретность измерений (задается программно), с, не менее	0,02
4. Выходной сигнал	Цифровой по интерфейсу RS-485
5. Параметры электропитания: - напряжение питания, В - род тока - потребляемый ток, мА, не более - потребляемая мощность, Вт, не более	5-17 постоянный 5 0,085
6. Параметры линии связи - тип кабеля - количество жил - сечение жилы, мм <sup>2</sup> , не более - сопротивление, Ом/ км, не более - общая емкость, мкФ, не более	контрольный 4 1,5 25 0,1 0,4
7. Габаритные размеры, мм	113x53
8. Масса, кг, не более	0,2
9. Условия эксплуатации: - диапазон рабочих температур, °С - относительная влажность при 35 °С до, % с конденсацией влаги	От минус 40 до 85 95

Таб. 1 — Основные технические характеристики ПДИ-01-02

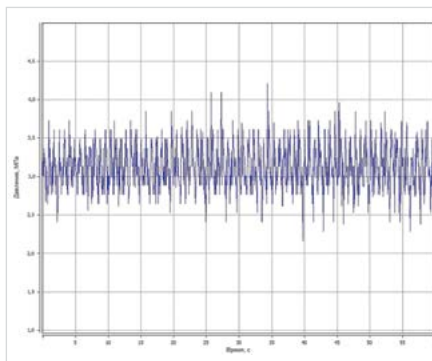


Рис. 4 — График изменения давления при среднем давлении 3 МПа без компенсатора

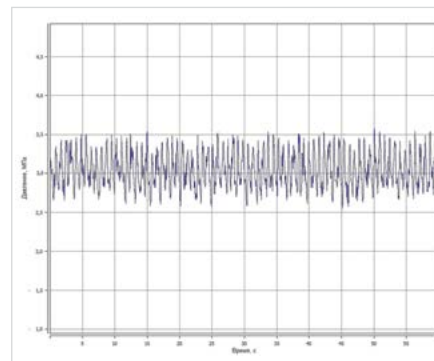


Рис. 5 — График изменения давления при среднем давлении 3 МПа с компенсатором

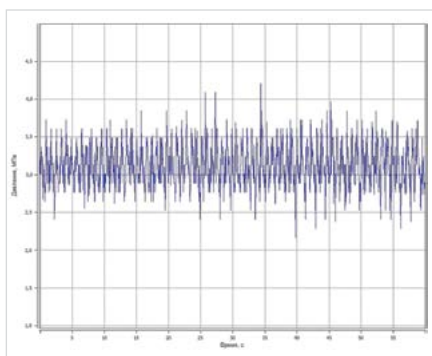


Рис. 6 — График изменения давления при среднем давлении 5 МПа без компенсатора

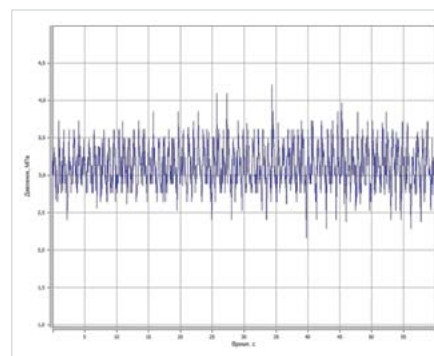


Рис. 7 — График изменения давления при среднем давлении 5 МПа с компенсатором

Технические характеристики использованного преобразователя давления представлены в таб. 1.

Передача информации внешнему устройству производится по протоколу Modbus через интерфейс RS-485. Основной задачей ЭВМ являются: преобразование, контроль, индикация, протоколирование рабочего процесса, управление и регулирование рабочим процессом.

В результате проведенных испытаний были получены графики изменений давления, представленные на рис. 4–7.

На рис. 4 показаны результаты замеров изменения давления в гидросистеме

лабораторной установки при ее работе без ступеней гашения компенсатора при среднем давлении 3 МПа. Из рисунка видно, что размах амплитуды колебаний давления достигает 1,5 МПа и является значительной величиной. На рис. 5 представлен график изменения давления в гидросистеме с установленными в компенсатор ступенями гашения. Из графика видно, что при среднем давлении 3 МПа размах амплитуды колебаний давления достигает примерно 0,8 МПа.

Аналогичные результаты были получены при установлении давления в гидросистеме лабораторной установки 5 МПа (рис. 6, 7).

Таким образом, проведенные стендовые исследования гидромеханического компенсатора подтверждают его работоспособность. В частности, при установлении среднего давления 3 МПа и 5 МПа в гидросистеме возникают колебания давления жидкости с размахом амплитуд, достигающих 1,5 МПа и 2,5 МПа соответственно. При включении в лабораторный стенд гидромеханического компенсатора при аналогичных средних давлениях в гидросистеме размах амплитуд колебаний давления снизился приблизительно до 0,8 МПа и 1,5 МПа соответственно. Аналогичные результаты были получены и при установлении в гидросистеме других величин давления. Таким образом, установка забойного гидромеханического компенсатора в лабораторный стенд позволила снизить амплитуду колебаний давления жидкости практически в 2 раза, что говорит о высокой эффективности его работы.

### Итоги

Показано, что буровой насос является источником интенсивных колебательных процессов при бурении скважин, величина коэффициента неравномерности давления промывочной жидкости достигает значения

0,5 и выше. Предложена конструкция забойного компенсатора, снижающего амплитуду колебаний давления промывочной жидкости.

### Выводы

1. Для снижения негативного воздействия колебаний давления промывочной жидкости на процесс бурения скважины в работе предложена конструкция многоступенчатого забойного гидромеханического компенсатора, защищенная патентом.
2. Установка забойного гидромеханического компенсатора в лабораторный стенд позволяет снизить неравномерность давления промывочной жидкости практически в 2 раза.
3. Положительные результаты лабораторных испытаний разработанного устройства свидетельствуют о высокой эффективности его работы.

### Список литературы

1. Басниев К.С., Кочина И.Н., Максимов В.М. Подземная гидромеханика. М.: Недра, 1993. 416 с.
2. Миннивалеев Т.Н. Разработка компенсатора для защиты трубопроводов

и оборудования от колебаний давления и гидроударов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2012. №4 (90) С. 164–168.

3. Мирзаджанзаде А.Х., Ентов В.М. Гидродинамика в бурении. М: Недра, 1985. 196 с.
4. Низамов Х.Н., Дербуков Е.И., Применко В.Н. Волновые процессы в гидросистеме закачки бурового раствора в пласт и способы их устранения // Нефтепромысловое дело. 1996. №11. С. 20–24.
5. Патент 2516734 РФ, МПК F16L 55/04. Компенсатор промывочной жидкости. Заявл. 28.01.2013. Опубл. 20.05.2014.
6. Хузина Л.Б. Повышение эффективности бурения наклонных и горизонтальных скважин с использованием комплекса виброусилителей: дис. докт. техн. наук. Уфа: УГНТУ, 2006. 266 с.
7. Шлык Ю.К. Повышение эффективности турбинного бурения путем улучшения характеристик турбобура и передачи забойной информации по механико-гидравлическому каналу связи: дис. докт. техн. наук. Уфа: УГНТУ, 2000. 237 с.

ENGLISH

DRILLING

UDC 622.24

## Assessing the performance and efficiency of bottom hole hydro-mechanical compensator pressure fluctuations of the drilling mud on a laboratory bench

### Author:

Timur N. Minnivaliev — Ph.D., associate professor; [timxn@yandex.ru](mailto:timxn@yandex.ru)

Oktyabrskiy Affiliate of Ufa State Petroleum Technological University, Oktyabrskiy, Russian Federation

### Abstract

Circulation of drilling mud is provide by piston mud pumps, which are sources of non-uniform motion of fluid in the drill string. Oscillations of flow rate and pressure of washing liquid leads to increase agility drill bit, premature wear and malfunction of the bit; the leakage of the reservoir, and unstable operation of and failure of downhole motors, reducing component life of the pump; the discharge line is under high pressure because of the significant size fluctuations, leading to unforeseen negative consequences. The article presents the developed hydromechanical downhole compensator pressure fluctuations of the washing fluid that is installed in the bottomhole Assembly, describes the laboratory stand for testing and the results of its testing.

### Materials and methods

In order to solve the tasks were used the basic laws of theoretical mechanics, fluid mechanics, analytical and experimental methods. Laboratory stand.

### Results

It is shown that the mud pump is the source of intense oscillatory processes during drilling, the value of the irregularity factor of the pressure of the washing fluid reaches a value of 0.5 and above. The proposed design of the downhole compensator reduces the amplitude of pressure fluctuations of the washing liquid.

### Conclusions

1. The design of multi-stage downhole hydraulic-mechanical compensator to

reduce the negative impact of fluctuations in the pressure of flush liquid in the process of drilling a well is proposed. The developed design is protected by a patent.

2. Installation of downhole hydraulic-mechanical compensator in the laboratory stand allows to reduce the uneven pressure of the flushing liquid is almost 2 times.
3. Positive results of laboratory tests of the developed device showed high effectiveness of its work.

### Keywords

well, mud pump, drilling fluid, the pressure fluctuations downhole hydraulic-mechanical compensator, bench research, amplitude, pressure sensor

### References

1. Basniev K.S., Kochina I.N., Maksimov V.M. *Podzemnaya gidromekhanika* [Underground hydromechanics]. Moscow: Nedra, 1993, 416 p.
2. Minnivaliev T.N. *Razrabotka kompensatora dlya zashchity truboprovodov i oborudovaniya ot kolebaniy davleniya i gidroudarov* [Designing of the compensator for protecting pipelines and equipment from pressure fluctuation and hydraulic impacts]. *Problemy sbera, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov*, 2012, issue 4 (90), pp. 164–168.
3. Mirzadzhanzade A.Kh., Entov V.M. *Gidrodinamika v burenii* [Hydrodynamics in drilling]. Moscow: Nedra, 1985, 196 p.
4. Nizamov Kh.N., Derbukov E.I., Primenko V.N. *Volnovye protsessy v gidrosisteme zakachki buravogo rastvora v plast i sposoby ikh ustraneniya* [Wave processes in hydraulic pumping drilling mud into the formation and the ways of their elimination]. *Neftpromyslovoe delo*, 1996, issue 11, pp. 20–24.
5. Patent 2516734 RF, МПК F16L 55/04. *Kompensator promyvochnoy zhidkosti* [Flush Water Compensator]. Declared 28.01.2013. Published 20.05.2014.
6. Khuzina L.B. *Povyshenie effektivnosti bureniya naklonnykh i gorizonta'nykh skvazhin s ispol'zovaniem kompleksa vibrousiliteley* [Improving the efficiency of drilling inclined and horizontal wells with the use of a complex of fibrosicistica]. Doctoral dissertation, Ufa: UGNTU, 2006, 266 p.
7. Shlyk Yu.K. *Povyshenie effektivnosti turbinnogo bureniya putem uluchsheniya kharakteristik turbobura i peredachi zaboynoy informatsii po mekhaniko-gidravlicheskomu kanalu svyazi* [Improving the efficiency of turbine drilling by improving the characteristics of the turbodrill downhole and transmit information by mechanical-hydraulic method of communication]. Doctoral dissertation, Ufa: UGNTU, 2000, 237 p.