

УДК 629.637.18

DOI: 10.18698/0536-1044-2015-12-62-70

# Разработка систем оперативного контроля характеристик фильтрационных потоков нефтяных скважин\*

С.Ф. Максимов, А.Н. Бобров, Е.А. Андреев

МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

## Development of Operational Control Systems of Filtration Flow Characteristics in Oil Wells

S.F. Maksimov, A.N. Bobrov, E.A. Andreev

BMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1

@ e-mail: maccsimov.s@mail.ru, alexbobr@mail.ru, antonov@bmstu.ru

**i** Проведен обзор литературных данных по способам и устройствам отбора проб в технических системах, характеризующихся осложненными условиями эксплуатации применительно к энергомашиностроению, авиационной, ракетной и нефтедобывающей отраслям. Проанализирована эффективность применения устройств разделения потоков типа газоконденсатных взвесей, служащих в качестве рабочего тела энергетических установок, для дифференцированной оценки состава этих потоков, а также состава флюидов, поступающих из нефтяных скважин. Разработан опытный образец автоматического пробоотборника для непрерывного взятия пробы смесового (нефтеводного) потока или чередующегося потока нефть–вода. Осуществлены стендовые и промышленные испытания опытного образца автоматического пробоотборника в непрерывном режиме в течение трех суток и проведено сравнение полученных результатов с данными дискретного отбора пробы с периодичностью один раз в сутки. Показатели различались на 5...9 % в сторону более высоких значений содержания нефти в непрерывно отбираемой пробе, что подтвердило необходимость использования технологии непрерывного отбора. Разработаны концепция базового метода отбора проб и устройство для определения состава непрерывно изменяющегося нефтеводного флюида, отбираемого на устье скважины. Эффективность и перспективность разработки обусловлена возможностью создания автоматизированных систем отбора проб из многопластовых скважин, одновременно эксплуатирующих несколько горизонтов. Такие системы отличаются повышенной информативностью, простотой конструкции и невысокой стоимостью.

**Ключевые слова:** нефтяная многопластовая скважина, обводненная скважина, забойный устьевой поток, фильтрационный поток, проба скважинной жидкости, электрическая проводимость, скважинный флюид, непрерывный отбор пробы, система контроля.

**i** A review of literature is conducted on the methods and equipment for sampling in technical systems operating in complex working conditions with regard to power engineering, aviation, rocket and oil industries. The authors analyze the effectiveness of devices used for separating gas-condensate suspended flows that serve as the working fluid for power

\* Настоящая работа выполнена в рамках Государственной программы «НЕФТЬ–ГАЗ–НАУКА».

systems. Differentiated evaluation of the flow composition is performed, and composition of the inlet fluids from oil wells is analyzed. An experimental model of an auto-sampler for continuous sampling of the mixed (oil-water) or alternating (oil / water) flows is developed. Bench and field tests of the prototype model were performed in the continuous mode for three days. The results obtained were compared with the results of discrete sampling performed once a day. The data obtained through the continuous sampling showed higher values of oil content by 5%–9%, which experimentally justified the need to use the continuous sampling method. The concept of the basic sampling method and a device for measuring the composition of the continuously changing oil-water fluid at the wellhead is developed. The efficiency and future application of the concept is determined by the possibility of developing automated sampling systems for multilayer wells that could be used simultaneously in several layers. Such systems are characterized by high information capacity, simple construction and low cost.

**Keywords:** multi-layer oil well, drowned well, downhole wellhead flow, filtration flow, downhole fluid sample, electrical conductivity, downhole fluid, continuous sampling, control system.

На сегодняшний день наиболее интенсивно в России развиваются оборонная, энергетическая и нефтегазодобывающая отрасли промышленности. Работники этих отраслей часто имеют дело с дисперсными потоками сложного реологического состава типа фильтрационных потоков нефтеводных флюидов или топливных композиций на базе смесей металлосодержащих горючих и различных окислителей [1, 2]. Для изучения состава таких потоков требуются специальные методы анализа, основанные, как правило, на отборе пробы с некоторой периодичностью и на последующем разделении ее содержимого на составляющие, например, посредством различных сепарирующих устройств [3], называемых разделителями потоков.

Отбор проб часто приходится проводить в сложных условиях — при жестких ограничениях по габаритам, высоким давлениям и температурам отбираемой пробы, которая содержит агрессивные компоненты, способные вызвать эрозию элементов конструкции. В зависимости от периодичности отбора пробы метод рассматривают как дискретный (квазидискретный) или непрерывный. Например, на нефтяных промыслах отбор проб проводится дискретно: вручную — сливом из скважинного трубопровода с периодичностью примерно один раз в неделю или с применением автоматических систем отбора проб с периодичностью от десятков секунд до нескольких часов [4].

Использование дискретного метода отбора проб может приводить к потере важной информации о составе пробы, например такой, как степень обводнения нефтяного флюида, содержание в нем растворенных газовых вклю-

чений, которые характеризуют качество и количество добываемой продукции как функцию времени.

Целью настоящего исследования является разработка принципиальных основ технологии непрерывного пробоотбора и технических средств одновременного и непрерывного определения состава пробы.

Особое значение приобретает задача обеспечения непрерывного измерения характеристик флюида при эксплуатации скважин с многопластовой структурой. Непрерывное измерение позволяет реализовать эффективную «одновременную раздельную эксплуатацию многопластовых нефтяных скважин» [5, 6], повысить качество добываемой продукции, а также улучшить эксплуатационные характеристики используемого оборудования в составе скважин на нефтяных месторождениях с несколькими горизонтами.

В целях решения этой задачи был проведен анализ имеющихся данных по пробоотборным устройствам для определения состава пробы и других характеристик, теоретически обоснован выбор схемы и разработана конструкция опытного образца автоматического пробоотборника, проведены его стендовые испытания, а также испытания разработанного устройства для проверки его функционирования в условиях, близких к промысловым, в дискретном и непрерывном режимах отбора проб.

На основе проведенных исследований уточнены параметры устройства и выполнены промысловые испытания в непрерывном (в течение трех суток) и дискретном режимах работы. Результаты этих испытаний подтвердили

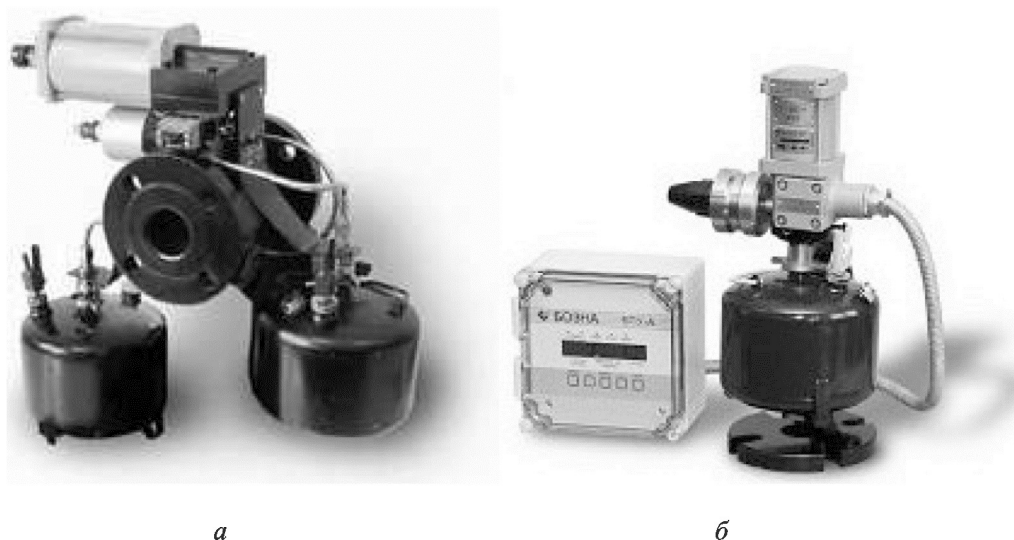


Рис.1 Общий вид конструкции стандартных пробоотборников:  
а — Стандарт-А Ло; б — Мавик-АЛ4

Таблица 1

Параметры устройств отбора проб

Наименование пробоотборника	Потребляемая мощность, Вт, не более	Объем пробы за один цикл, см <sup>3</sup>	Вместимость баллона, см <sup>3</sup> , не менее	Род тока	Напряжение питания, В; частота, Гц	Давление в трубопроводе, МПа
Стандарт-А, Стандарт-Р	25	2...20	3 000	Переменный, трехфазный	220/380; 50	0,2
Мавик	25	2...20	3 000	То же	220/380; 50	0,2...6,3
Отбор-АР-слив	480	1...12	3 000	»	140/220; 50	6,3
Проба-1М	320 (вкл.) 20 (выкл.)	2...20	3 000	Постоянный	140/210	0,2...6,3
Пульсар	100 (вкл.) 10 (выкл.)	1...15	4 500 или 6 000	Переменный, трехфазный	220/380; 50	0,05...6,3
Стандарт-АЛ	25	2...20	3 000	То же	380; 50	0,2...6,3

большую эффективность непрерывного пробоотбора по сравнению с дискретным.

Анализ литературных данных [1–7] показывает, что на сегодняшний день созданы или находятся в стадии разработки различные пробоотборные устройства, используемые в нефтяной, газовой, химической и других отраслях народного хозяйства, а также в авиационной и ракетной технике, например устройства, показанные на рис. 1, и пробоотборники, характеристики которых приведены в табл. 1 [8].

Несмотря на многообразие технических решений пробоотборных устройств, им присущ один общий недостаток — дискретный характер сбора информации.

Для формирования устройства отбора непрерывного действия выполнен анализ воз-

можных схемных решений пробоотборника, некоторые из них представлены на рис. 2.

В качестве приоритетных параметров устройства отбора проб рассматривались массогабаритные и режимные характеристики, которые определялись по следующим формулам. Масса пробоотборника, не заполненного пробой,

$$M = V_{\min} \rho_M = \pi D_{\text{cp}} \delta L \rho_M, \quad (1)$$

где  $V_{\min}$  — минимально возможный объем пробоотборной емкости;  $\rho_M$  — плотность материала пробоотборника;  $D_{\text{cp}} = D_{\text{вн}} + \delta$  — средний диаметр цилиндрической части пробоотборной емкости ( $D_{\text{вн}}$  — внутренний диаметр цилиндрической емкости,  $\delta$  — толщина стенки пробоотборника);  $L$  — длина емкости пробоотборника.

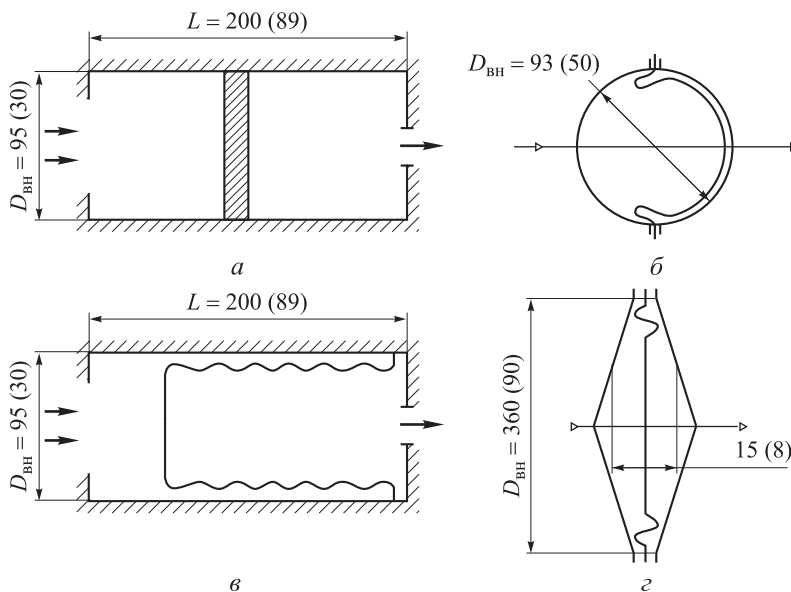


Рис. 2. Возможные конструктивные схемы пробоотборников:  
 а — цилиндр с поршнем; б — шар с гибкой диафрагмой; в — сиффон; г — диск с мембраной

Таблица 2

Массогабаритные характеристики пробоотборного устройства

L, мм	500	200	150	100	90	80	75	70	50	20	10
D <sub>ср</sub> , мм	62	98	113	138	146	155	160	165	196	309	437
M, кг	1,17	1,74	0,64	0,52	0,44	0,47	0,45	0,44	0,37	0,24	0,17

Толщина δ стенки пробоотборника в функции прочностных характеристик материала и геометрических параметров емкости пробоотборника определяется по следующей формуле [9, 10]:

$$\delta = K D_{вн} p / (2\sigma_v), \quad (2)$$

где K — коэффициент запаса прочности; p — давление в цилиндрическом пробоотборнике; σ<sub>v</sub> — предел прочности материала пробоотборного цилиндра.

В уравнении (1) длина и средний диаметр функционально связаны между собой через объем пробоотборной емкости. С учетом возможных концентраторов напряжения расчетная толщина стенки пробоотборника для конструкционной стали принята равной 3 мм.

Расчеты по массогабаритным характеристикам и форме устройства пробоотбора проводились при изменении давления в диапазоне значений 0,5...3,6 МПа полученные результаты сведены в табл. 2.

Расчетная зависимость длины пробоотборника L от диаметра D<sub>вн</sub> емкости для суточного и часового отбора проб приведена на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что геометрическая форма отборника при различном отношении L/D<sub>вн</sub>

изменяется. При L/D<sub>вн</sub> = 0,02...1 емкость пробоотборника имеет вид неширокого диска или шара, а при L/D<sub>вн</sub> = 3...8 представляет собой вытянутый цилиндр.

С учетом перечисленных особенностей пробоотборник с непрерывным циклом должен иметь близкую к дисковой форму, которой соответствует схема диафрагменного устройства пробоотбора дифференциального типа, приведенная на рис. 2, г. Эта геометрическая форма

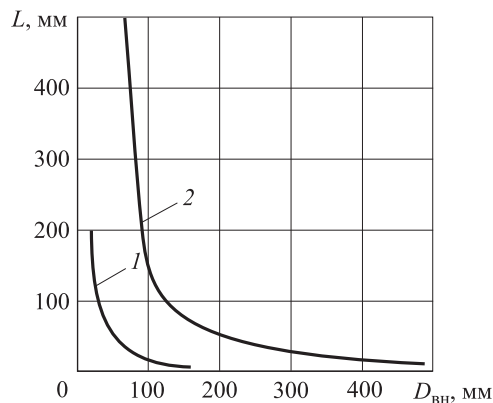


Рис. 3. Теоретическая зависимость длины L пробоотборной емкости от ее диаметра D<sub>вн</sub> для суточного (1) и часового (2) отбора проб

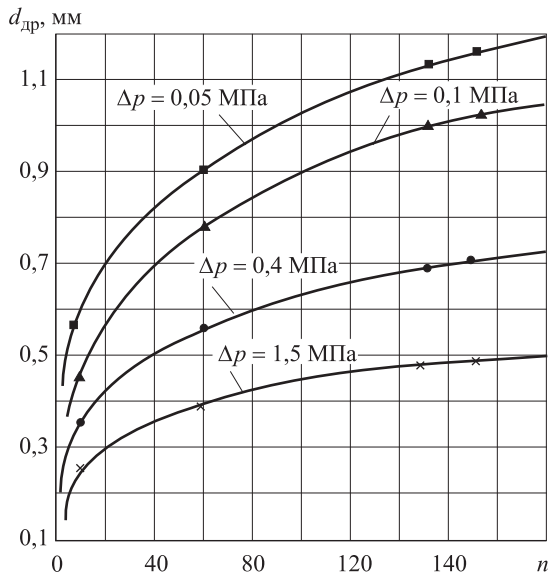


Рис. 4. Теоретическая и экспериментальная зависимости диаметра  $d_{др}$  отверстия дросселя от определяющих параметров  $n$  и  $\Delta p$

обеспечивает и высокие динамические качества отборника, связанные с требованием небольших перемещений диафрагмы при минимально возможном объеме отбора пробы  $Q_{min}$  и высокой ресурсноспособности устройства в целом.

С той же целью необходимо компенсировать влияние физико-химических свойств скважинного флюида. Это можно реализовать за счет использования чистой технологической жидко-

сти с равным объемным расходом, пробоотборной жидкости который обеспечивается применением герметичной между ними разделительной эластичной перегородки.

Для определения оптимальной геометрической формы пробоотборника прежде всего необходимо выявить оптимальные зависимости между диаметром, длиной и объемом пробоотборной емкости.

При выборе дисковой формы пробоотборника уравнение для внутреннего объема его емкости имеет вид:

$$V_{min} = (\pi D_{вн} / 4) L = const. \quad (3)$$

Объем  $V_{min}$  пробоотборника может быть выражен через минимальный объемный расход  $Q_{min}$  и время  $\tau$  отбора пробы:

$$V_{min} = Q_{min} \tau. \quad (4)$$

Минимальный объемный приход жидкости из трубопровода в сборную емкость обеспечивается расходом чистой жидкости через пакет дроссельных шайб, который по данным [7], можно определить по формуле:

$$Q_{min} = (\pi d_{др}^2 / 4) \left( \rho \frac{\Delta p}{2n} \right)^{0,25} = const, \quad (5)$$

где  $d_{др}$  — диаметр отверстия каждого из дросселей в пакете;  $\rho$  — плотность жидкости;  $n$  —

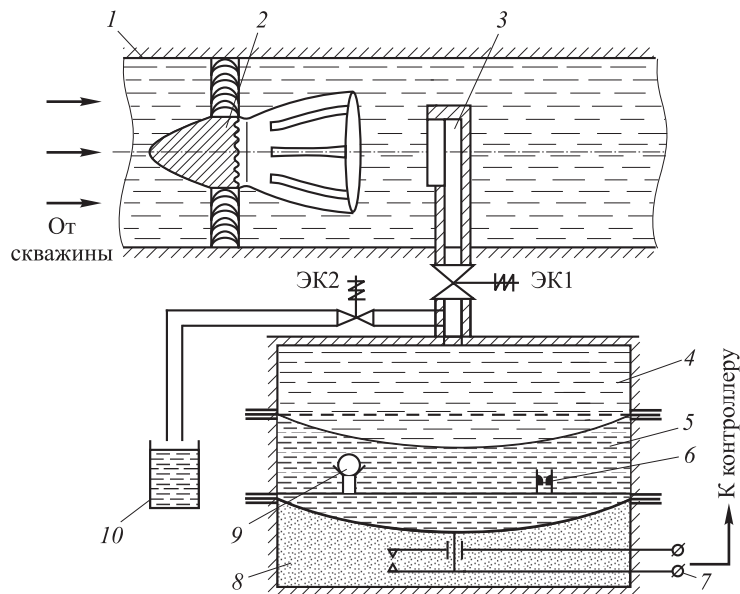


Рис. 5. Принципиальная схема пробоотборного устройства непрерывного цикла: 1 — нефтяной трубопровод; 2 — сепаратор-завихритель; 3 — отборник пробы; 4 — сборная емкость пробоотборника; 5 — емкость для чистой технологической жидкости; 6 — дроссель-дозатор; 7 — контактная группа переключения клапанов; 8 — газовый аккумулятор давления; 9 — обратный клапан; 10 — емкость для слива пробы; ЭК1, ЭК2 — электрические клапаны

количество последовательно включенных дроссельных шайб;  $\Delta p$  — перепад давлений на системе дросселей.

Рассчитанная по уравнению (5) зависимость диаметра жиклера от количества последовательно включенных дроссельных шайб при постоянном минимальном расходе суточной пробы, равном 1,5 л, и от технологически приемлемых перепадов давлений на совокупном дроссельном устройстве представлена на рис. 4. Здесь же на графиках, построенных по данным расчета, нанесены точки, полученные путем осреднения результатов эксперимента с доверительным интервалом  $\pm 2\%$ .

На рис. 4 видно, что с увеличением количества дроссельных шайб возрастает диаметр отверстия в шайбе дозатора, что позволяет избежать засоров этих шайб пробоотборника и обеспечить более надежную работу устройства.

Для дальнейшей оптимизации структуры и характеристик устройства пробоотбора уравнения (1)–(3) должны быть дополнены уравнениями (4) и (5).

Выбор параметров устройства, осуществляющего оперативный контроль характеристик фильтрационных потоков нефтяных скважин, связан с решением уравнений (1)–(5) относительно объема отбираемой пробы, диаметра и длины пробоотборной емкости, цикличности взятия пробы, диаметра и количества дроссельных шайб в пакете, перепада давлений на дросселе. Принципиальная схема такого устройства с непрерывным циклом отбора проб приведена на рис. 5.

Реализация непрерывного отбора проб затруднена в первую очередь необходимостью минимизации секундного количества отбираемой жидкости, которая имеет сложный состав. Она включает механические примеси, асфальтены, серу и т. п. Малым ежесекундным отборам пробы соответствуют и малые проходные сечения гидравлических каналов.

Поскольку устройства работают в существенно осложненных условиях нефтяных скважин, здесь, как и в ЖРД [11], используют вытеснительную систему отбора пробы скважинной жидкости. Через мембранное устройство она связана с емкостью технологической жидкости, расход которой регулируется переключающим программным устройством непрерывного дозированного слива.

Фильтрационный поток, поступающий от скважины, сначала проходит предварительную

подготовку, будучи направленным на сепарирующе-диспергирующее устройство 2 (см. рис. 5), которое снижает количество механических и газовых включений за счет закрутки нефтеводного потока.

Для обоснования геометрических параметров и подтверждение работоспособности пробоотборника в виде диска с гибкой диафрагмой была составлена математическая модель его рабочего элемента, описывающая связь между прогибом диафрагмы и геометрическими параметрами данного пробоотборника (рис. 6). На этом рисунке  $D_{вн}$  — внутренний диаметр пробоотборной емкости, зависящий от прогиба  $h$  эластичной диафрагмы (шарового сегмента),  $R$  — радиус сферической поверхности гибкой диафрагмы.

Из геометрических соотношений найдена связь между прогибом  $h$  диафрагмы, внутрен-

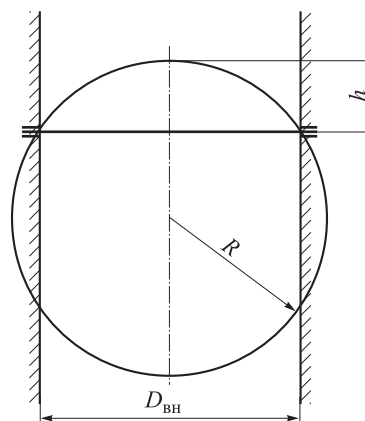


Рис. 6. Расчетная модель рабочего элемента диафрагменного пробоотборника

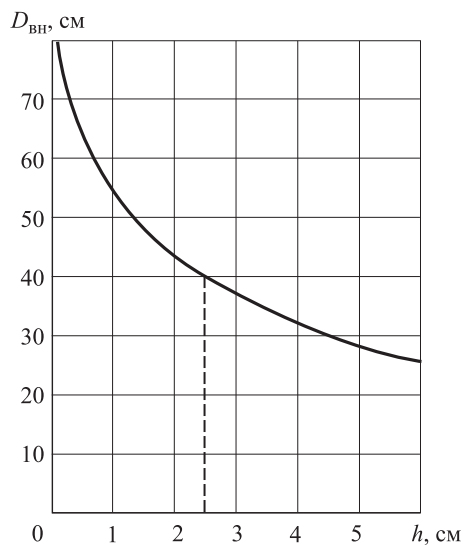


Рис. 7. Кривая зависимости  $D_{вн} = f(h)$  при  $V_{мин} = 1,5 \text{ л} = \text{const}$

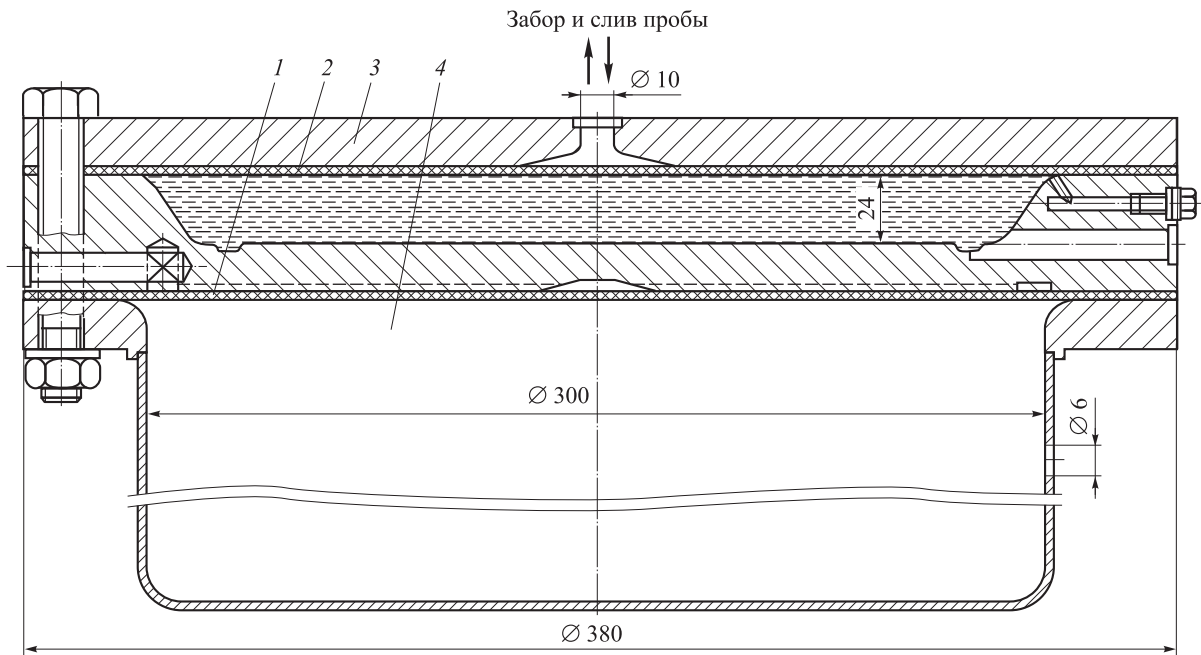


Рис. 8. Конструктивная схема опытного образца пробоотборника ЕВЭ4.00.00.00.СБ для непрерывного исследования характеристик фильтрационных потоков нефтяных скважин:

1, 2 — диафрагмы; 3 — емкость для чистой технологической жидкости; 4 — газовый аккумулятор давления

ним диаметром  $D_{\text{вн}}$  пробоотборника и его объемом  $V_{\text{мин}}$ :

$$D_{\text{вн}} = \left[ \frac{8}{3h} \left( \frac{3V_{\text{мин}}}{\pi} - \frac{h^3}{2} \right) \right]^{0,5}. \quad (6)$$

Результаты расчетов по уравнению (6) представлены на рис. 7 в виде графика зависимости диаметра пробоотборного устройства от прогиба диафрагмы, необходимого для забора суточной пробы в объеме 1,5 л. С учетом массогабаритных ограничений при диаметре пробоотборной емкости  $D_{\text{вн}} = 0,4$  м оптимальный прогиб  $h$  диафрагмы составит 0,025 м.

Согласно приведенным в литературе рекомендациям [9, 10] по ограничению диаметров отверстий насадок при истечении жидкости в затопленное пространство, их минимально допустимый размер даже на чистых жидкостях с учетом возможного явления облитерации не может быть менее 0,5 мм при длительной эксплуатации.

Предварительные стендовые испытания нового образца показали, что для обеспечения стабильного объемного отбора проб в течение длительного времени необходимо использовать динамический дозатор в виде клапанного устройства. Конструкция экспериментального образца пробоотборника, спроектированного и

изготовленного с учетом результатов предварительных исследований, приведена на рис. 8. Общий вид этого устройства при испытаниях его на стенде представлен на рис. 9.

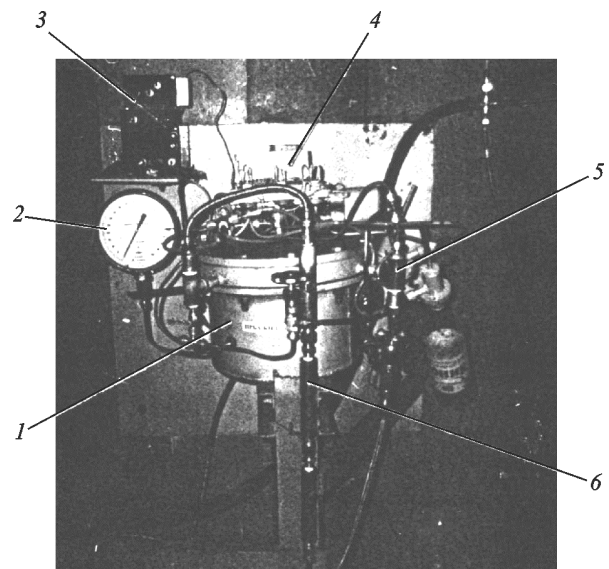


Рис. 9. Система оперативного контроля характеристик скважинного флюида ПРБ-А1 на стенде кафедры «Ракетные двигатели» МГТУ им. Н.Э. Баумана:

- 1 — вытеснительная емкость ЕВЭ4.00.00.00Э-1;  
2 — манометр; 3 — электронный таймер;  
4 — электромеханический переключатель клапанов;  
5 — клапан-дозатор технологической жидкости;  
6 — дроссель-дозатор

В процессе экспериментов в стендовых условиях была проведена доработка дроссельного дозирующего устройства путем уменьшения количества шайб в пакете до 10, увеличения перепада давлений на пакете дросселей до 1,6 МПа и диаметра дроссельного отверстия — до  $(1,5...2,0) \cdot 10^{-3}$  м. Дополнительно последовательно с дросселем-дозатором был установлен быстродействующий электрический клапан, работающий в импульсном режиме с частотой 4...10 Гц. В стендовых условиях скважинный флюид моделировался подачей воды.

По результатам этих испытаний был получен устойчивый режим работы пробоотборного устройства с суточным отбором проб в емкость 1,5 л на частоте 5 Гц.

Для подтверждения работоспособности системы оперативного контроля характеристик фильтрационных потоков нефтяных скважин

устройство было испытано на выходе нефтяной обводненной скважины Зольненского месторождения. Испытания проводились в непрерывном автоматическом режиме в течение трех суток и показали соответствие расчетных параметров и результатов эксперимента.

## Выводы

1. Предложена система уравнений, описывающая рабочий процесс в устройстве непрерывного пробоотбора скважинного флюида, и разработан опытный образец устройства.

2. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что содержание нефти во флюиде при непрерывном автоматическом отборе может на 5...9 % превышать аналогичные показания при дискретном отборе проб.

## Литература

- [1] Шахиджанов Е.С., Мяндин А.Ф. *Реактивные двигатели подводных аппаратов на твердом топливе*. Москва, Изд-во ГНПП «Регион», 2005. 226 с.
- [2] Андреев Е.А., Бобров А.Н., Максимов С.Ф. Эффективность применения сепарирующих устройств в энергетических установках на ТТ. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2013, вып. 4. Doi: 10.18698/2308-6033-2013-4-703 (дата обращения 25 сентября 2015).
- [3] Мильштейн Л.М., Бойко С.И. *Нефтепромысловая сепарационная техника*. Москва, Недра, 1981, с. 56–79.
- [4] ГОСТ 2517–2012. *Нефть и нефтепродукты. Методы отбора проб*. Москва, Стандартинформ, 2014. 35 с.
- [5] Ивановский В.Н. Одновременно раздельный дебет и эксплуатация обводненных скважин: обзор современных технологий и перспективы развития. *Инженерная практика*, 2012, вып. 2, с. 4–15.
- [6] Барышников А.В. *Обоснование технологии разработки многопластовых объектов с применением оборудования для одновременно раздельной закачки воды*. Автореф. ... канд. техн. наук. Санкт-Петербург, 2011. 18 с.
- [7] Соколовский Э.В., Максимов С.Ф. *Устройство для регулирования отбора жидкости в процессе эксплуатации скважины*. Пат. РФ № 32191. Российская Федерация, 2008.
- [8] ГОСТ Р 53240–2008. *Скважины поисково-разведочные нефтяные и газовые. Правила проведения испытаний*. Москва, Стандартинформ, 2009. 31 с.
- [9] Башта Т.М. *Машиностроительная гидравлика*. Москва, Машиностроение, 2010. 351 с.
- [10] Сточек Н.П., Шапиро А.С. *Гидравлика жидкостных ракетных двигателей*. Москва, Машиностроение, 1972, с. 60–70.
- [11] Ягодников Д.А., ред. *Жидкостные ракетные двигатели. Основы проектирования*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 486 с.

## References

- [1] Shakhidzhanov E.S., Miandin A.F. *Reaktivnye dvigateli podvodnykh apparatov na tverdom toplive* [Jet engines submersibles solid fuel]. Moscow, GNPP «Region» publ., 2005. 226 p.
- [2] Andreev E.A., Bobrov A.N., Maksimov S.F. *Effektivnost' primeneniia separiruiushchikh ustroystv v energeticheskikh ustanovkakh na TT* [Problems of high-temperature multiphase flow separation and schemes of separating devices]. *Inzhenernyi zhurnal: nauka i in-*



- novatsii* [Engineering Journal: Science and Innovation]. 2013, iss. 4. Available at: <http://engjournal.ru/catalog/machin/rocket/702.html>. Doi: 10.18698/2308-6033-2013-4-703 (accessed 25 September 2015).
- [3] Mil'shtein L.M., Boiko S.I. *Neftepromyslovaia separatsionnaia tekhnika* [Oilfield separation technique]. Moscow, Nedra publ., 1981, pp. 56–79.
- [4] GOST 2517–2012. *Neft' i nefteprodukty. Metody otbora prob* [GOST 2517–2012. Oil and oil products. Sampling methods]. Moscow, Standartinform publ., 2014. 35 p.
- [5] Ivanovskii V.N. *Odnovremenno razdel'nyi debet i ekspluatatsiia obvodnennykh skvazhin: obzor sovremennykh tekhnologii i perspektivy razvitiia* [At the same time separate debit and operation of flooded wells: an overview of modern technologies and development prospects]. *Inzhenernaia praktika* [Engineering Practice]. 2012, iss. 2, pp. 4–15.
- [6] Baryshnikov A.V. *Obosnovanie tekhnologii razrabotki mnogoplastovykh ob"ektov s primeneniem oborudovaniia dlia odnovremenno razdel'noi zakachki vody*. Diss. kand. tekhn. nauk [Justification multilayer technology development facilities with equipment for water injection at the same time. Cand. tech. sci. diss.]. St. Peterburg, 2011. 18 p.
- [7] Sokolovskii E.V., Maksimov S.F. *Ustroistvo dlia regulirovaniia otbora zhidkosti v protsesse ekspluatatsii skvazhiny* [Device for adjusting the fluid production during well production]. Patent RF no. 32191, 2008.
- [8] GOST R 53240–2008. *Skvazhiny poiskovo-razvedochnye neftyanye i gazovye. Pravila provedeniia ispytaniia* [GOST R 53240–2008. Wells exploration oil and gas. Terms tests]. Moscow, Standartinform publ., 2009. 31 p.
- [9] Bashta T.M. *Mashinostroitel'naiia gidravlika* [Engineering hydraulics]. Moscow, Mashinostroenie publ., 2010. 351 p.
- [10] Stochek N.P., Shapiro A.S. *Gidravlika zhidkostnykh raketnykh dvigatelei* [Hydraulic liquid rocket engines]. Moscow, Mashinostroenie publ., 1972, pp. 60–70.
- [11] *Zhidkostnye raketnye dvigateli. Osnovy proektirovaniia* [Liquid rocket engine. Design Basics]. Ed. Iagodnikov D.A. Moscow, Bauman Press, 2006. 486 p.

Статья поступила в редакцию 12.10.2015

## Информация об авторах

**МАКСИМОВ Станислав Федорович** (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Ракетные двигатели». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: [maksimov.s@mail.ru](mailto:maksimov.s@mail.ru)).

**БОБРОВ Александр Николаевич** (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Ракетные двигатели». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: [alexbovr@mail.ru](mailto:alexbovr@mail.ru)).

**АНДРЕЕВ Евгений Александрович** (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Ракетные двигатели». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: [antonov@bmstu.ru](mailto:antonov@bmstu.ru)).

## Information about the authors

**MAKSIMOV Stanislav Fedorovich** (Moscow) — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Rocket Engines Department. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: [maksimov.s@mail.ru](mailto:maksimov.s@mail.ru)).

**BOBROV Aleksandr Nikolaevich** (Moscow) — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Rocket Engines Department. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: [alexbovr@mail.ru](mailto:alexbovr@mail.ru)).

**ANDREEV Evgeniy Aleksandrovich** (Moscow) — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Rocket Engines Department. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2<sup>nd</sup> Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: [antonov@bmstu.ru](mailto:antonov@bmstu.ru)).