

# ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ВАЛА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ГАЗОСЕПАРАТОРОВ К УЭЦН

А. ДРОЗДОВ, А. ДЕНЬГАЕВ, В. ВЕРБИЦКИЙ, И. КРАСИЛЬНИКОВ, РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина  
 А. РАБИНОВИЧ, ЗАО «Новомет — Пермь»  
 С. ЗДОЛЬНИК, Д. МАРКЕЛОВ, ОАО «Юганскнефтегаз»

*Основным способом механизированной добычи нефти в России является эксплуатация скважин при помощи установок электроцентробежных насосов (УЭЦН), которыми в настоящее время поднимается на поверхность более 80% нефти. В структуре действующего фонда более 60 000 составляют скважины, оборудованные УЭЦН.*

*С конца 90-х годов на многих месторождениях РФ активно вводится политика интенсификации скважин. Начался процесс возрастания глубин подвески насосных установок с увеличением подачи и напоров УЭЦН для снижения динамических уровней и усиления депрессии на пласт. Это привело к обострению различных осложняющих факторов, таких как наличие свободного газа в откачиваемой продукции, высокие температуры, вынос механических примесей и др.*

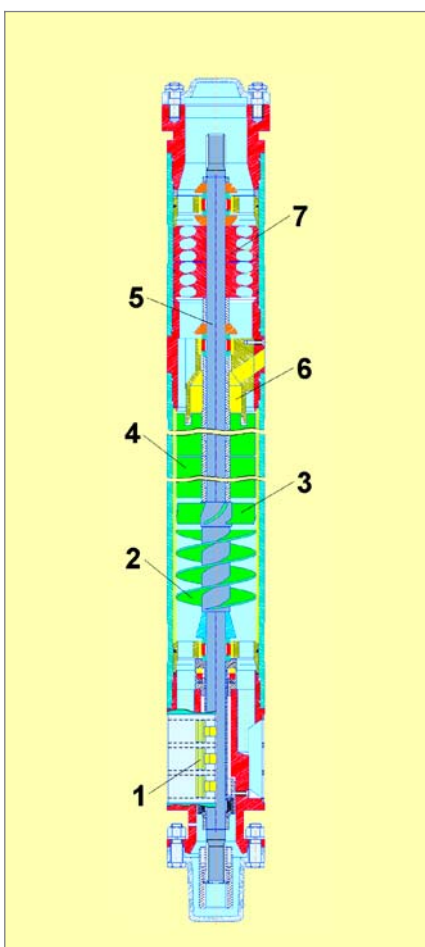


Рис. 1. Газосепаратор-диспергатор типа ГДНК к насосам групп 5 и 5А

1 — приемная сетка, 2 — шнек, 3 — кавернообразующее колесо, 4 — сепарационные барабаны, 5 — вал, 6 — узел отвода газа, 7 — диспергатор

**Б**ольшая доля скважин, оборудованных УЭЦН, эксплуатируется при высоких входных газосодержаниях, что приводит к значительному снижению развиваемого давления и подачи скважинной продукции. Нередки случаи, когда повышенное газосодержание на приеме насоса приводит к срыву подачи установки.

Существуют различные способы защиты ЭЦН от отрицательного влияния свободного газа на его работу, но наиболее эффективным из них является применение газосепараторов центробежного типа.

На сегодняшний день выпускается огромное количество центробежных газосепараторов к установкам ЭЦН как в России, так и за рубежом, но при этом далеко не все способны работать в осложненных скважинах. Участились случаи самопроизвольного расчленения газосепараторов и «полет» установок ЭЦН на забой скважины [1 — 3]. Причем с данными проблемами сталкиваются как отечественные, так и импортные устройства [1].

В последнее время происходит массовое оснащение частотными преобразователями (ЧП) станций управления установок ЭЦН. Ежегодно на различных конференциях, посвященных механизированной добыче нефти, одной из обсуждаемых тем является внедрение интеллектуальных установок. Внедрение ЧП позволяет плавно выводить установку ЭЦН на постоянный режим работы после погружного ремонта скважины (ПРС) без остановок

на охлаждение, помогает корректировать дальнейшую эксплуатацию насоса во времени при изменениях работы системы «скважина — пласт» без привлечения бригад ПРС. Особо стоит отметить установки, способные работать при частоте вращения вала до 10 000 об./мин.

Однако вопрос о влиянии частоты вращения вала электродвигателя на эффективность работы центробежного газосепаратора ранее не исследовался. При увеличении частоты возрастает центробежная скорость в сепараторе, что при наличии в откачиваемой среде механических примесей может привести к преждевременному отказу или аварии.

Исследования серийно выпускаемых российскими производителями газосепараторов позволили установить целый ряд не известных ранее закономерностей и прогнозировать в дальнейшем работу установки ЭЦН с газосепаратором в скважине, оборудованной частотным преобразователем, а в некоторых случаях и вовсе отказаться от его применения.

По принципу газоотделения все современные, выпускаемые заводами и широко применяемые на промыслах газосепараторы к УЭЦН могут быть разделены на две основные группы: сепараторы с использованием только центробежных сил и сепараторы с применением, помимо этого, еще и эффекта суперкавитации в газожидкостном потоке с объединением газовых пузырьков в крупные каверны.

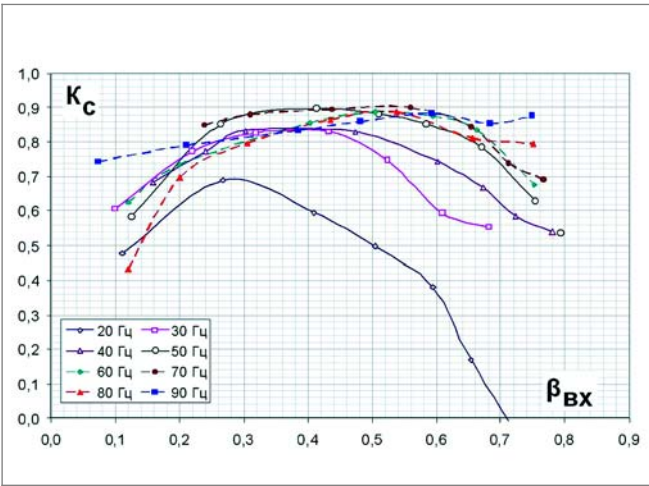


Рис. 2. Зависимость коэффициента сепарации ( $K_c$ ) от газосодержания на входе ( $\beta_{вх}$ ) в газосепаратор ГДНК5 для  $Q_{ж.нач} = 90 \text{ м}^3/\text{сут.}$

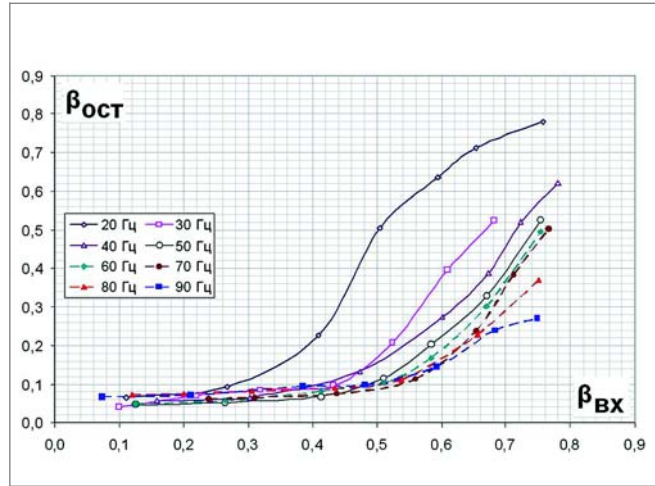


Рис. 3. Зависимость остаточного газосодержания ( $\beta_{ост}$ ) от газосодержания на входе ( $\beta_{вх}$ ) в газосепаратор ГДНК5 для  $Q_{ж.нач} = 90 \text{ м}^3/\text{сут.}$

Их стендовые испытания и анализ работы в реальных условиях показали, что устройства, оснащенные кавернообразующим колесом, обладают более высокими сепарационными свойствами не только на стенде, но и в добывающих скважинах.

В данной работе представлены первые результаты исследований четырех серийно выпускаемых российских газосепараторов (ГДНК5, ГДНК5А, МН-ГД5, 2МН-ГСЛ5Т) к УЭЦН при разных частотах вращения вала электродвигателя на установке кафедры разработки и эксплуатации нефтяных месторождений РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина.

Испытательный стенд, реализующий данный метод исследований, защищен авторским свидетельством СССР №1521918 [4]. Кроме того, на предложенный способ испытаний и стенд для его осуществления получен патент РФ №2075656 [5]. Исследования проводили на мелкодисперсной смеси «вода — ПАВ — воздух»,

приготовленной с помощью эжектора. Совместно с газосепараторами работал 12-ступенчатый насос ЭЦН5-125. В состав стенда входил также частотный преобразователь, позволяющий менять частоту тока от 20 до 90 Гц.

В процессе экспериментов строили графики зависимости коэффициента сепарации, остаточного газосодержания от газосодержания смеси на входе в газосепаратор, а также подачи жидкости и давления, развиваемого 12-ступенчатым насосом ЭЦН5-125, от газосодержания ГЖС на входе в газосепаратор на различных режимах по начальной подаче жидкости и при различных частотах вращения вала электродвигателя. Более подробной схема и методика проведения испытаний раскрыты в работах [6 — 8].

Принципиальная схема исследованных газосепараторов-диспергаторов ГДНК5 и ГДНК5А представлена на рис. 1.

На рис. 2 — 3 показаны в качестве примера полученные в экспери-

ментах зависимости остаточного газосодержания  $\beta_{ост}$  в жидкости, поступающей в насос ЭЦН5-125 после газосепаратора, и коэффициента сепарации  $K_c$  газосепаратора-диспергатора ГДН5 от газосодержания на входе в газосепаратор  $\beta_{вх}$ . Приведенные данные соответствуют определенному значению ( $90 \text{ м}^3/\text{сут.}$ ) начальной подачи насоса  $Q_{ж.нач}$ , заданной подпорным насосом и диаметром сопла струйного насоса.

Полученные при этой же начальной подаче графики зависимости закачивания жидкости ( $Q_{жс}$ ) и давления ( $P_n$ ), развиваемого 12-ступенчатым насосом ЭЦН5-125, для различных газосодержаний на входе ( $\beta_{вх}$ ) в газосепаратор ГДНК5, представлены на рис. 4 — 5. Эти зависимости указывают на влияние свободного газа, оставшегося после газосепаратора в жидкости, поступающей в насос, на давление  $P_n$ , развиваемое этим насосом, и подачу жидкости  $Q_{жс}$ .

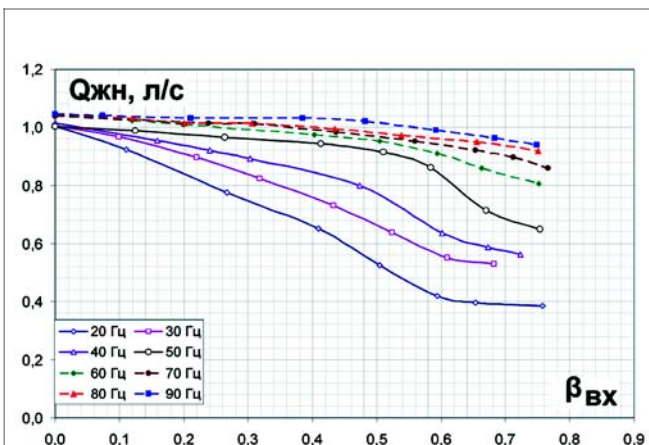


Рис. 4. Зависимость подачи насоса ( $Q_{жн}$ ) от газосодержания на входе ( $\beta_{вх}$ ) в газосепаратор ГДНК5 для  $Q_{ж.нач} = 90 \text{ м}^3/\text{сут.}$

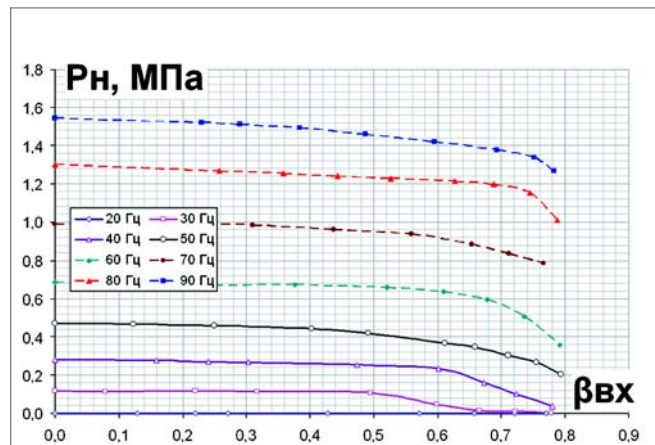


Рис. 5. Зависимость давления, развиваемого насосом ( $P_n$ ), от газосодержания на входе ( $\beta_{вх}$ ) в газосепаратор ГДНК5 для  $Q_{ж.нач} = 90 \text{ м}^3/\text{сут.}$



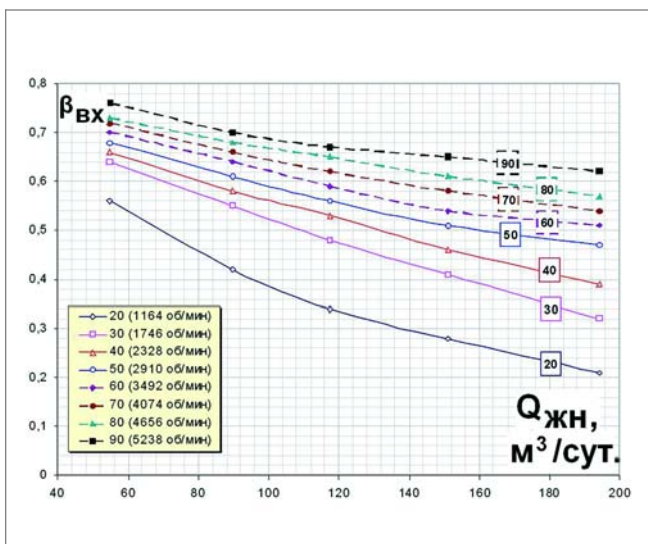


Рис. 6. Зависимость максимального газосодержания на входе от подачи жидкости при остаточном газосодержании 25% для газосепаратора-диспергатора ГДНК5 при различных частотах

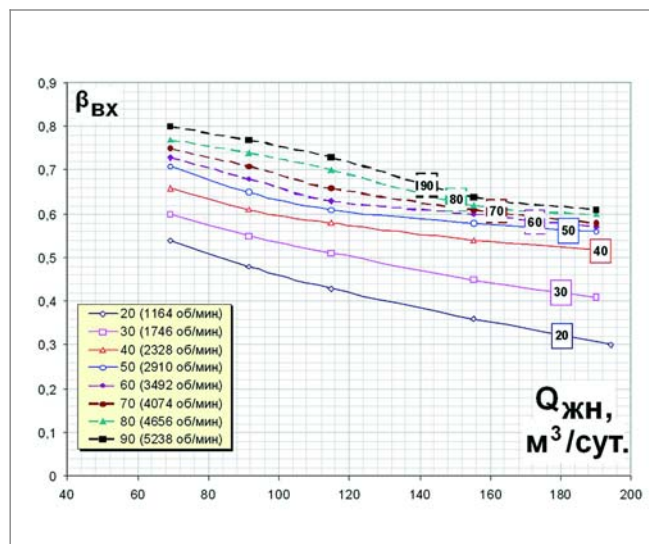


Рис. 7. Зависимость максимального газосодержания на входе от подачи жидкости при остаточном газосодержании 25% для газосепаратора-диспергатора ГДНК5А при различных частотах

Аналогичные кривые получены также для начальных подач 50, 120, 150 и 190 м³/сут. На каждой начальной подаче жидкости были проведены восемь испытаний при различных частотах вращения вала.

По результатам проведенных стендовых исследований строили зависимости максимально допустимого входного газосодержания ( $\beta_{вх}$ ) от начальной подачи жидкости ( $Q_{ж.нач}$ ) при уровне остаточного газосодержания на входе в насос  $\beta_{ост} = 0,25$ .

На рис. 6 — 7 представлены итоговые результаты испытаний газосепараторов-диспергаторов ГДНК5 и ГДНК5А на различных частотах вращения вала (с шагом 10 Гц).

Среди известных аналогов отечественных и зарубежных производителей в сопоставимых габаритах данные устройства обладают наиболее высокими сепарационными характеристиками.

Сепарационные характеристики газосепаратора-диспергатора ГДНК5 заметно растут в диапазоне увеличения частоты вращения  $f$  вала двигателя от 20 до 50 Гц. Дальнейшее увеличение частоты приводит к менее значительному повышению степени разделения фаз.

Сепарационные свойства газосепаратора-диспергатора ГДНК5А в зависимости от частоты вращения вала двигателя значительно улучшаются в диапазоне  $f$  от 20 до 50 Гц. Последующее увеличение частоты приводит к некоторому улучшению разделения фаз, но не так значительно, особенно в диапазоне подач 150 — 190 м³/сут.

Далее на стенде испытывали газосепаратор МН-ГД5 (рис. 8), который является копией газосепаратора МН-ГСЛ5, повторяя конструкцию прототипа с незначительными изменениями.

Пробные стендовые испытания первого выпущенного образца были проведены на стенде в конце 2000 г., а повторные испытания серийно выпускаемой модели газосепаратора — в 2001 г. Эти эксперименты показали, что МН-ГД5 является полным аналогом МН-ГСЛ5 по своим сепарационным качествам (разница в пределах погрешности).

Испытания МН-ГД5 при разных частотах проведены в четырех различных режимах по начальной подаче жидкости: 65, 110, 150 и 190 м³/сут. при различной частоте вращения вала — от 40 до 70 Гц.

На рис. 9 представлены итоговые результаты испытания газосепаратора МНГД5 на различных частотах вращения вала. При увеличении частоты с 40 до 50 Гц наблюдается улучшение характеристики сепаратора. При дальнейшем повышении частоты от 50 до 70 Гц для подач свыше 80 м³/сут. происходит ухудшение работы сепаратора. Это явление, по-видимому, связано с усилением диспергации газовых пузырьков на шнеке и выпрямляющей решетке сепаратора и ухудшением работы кавернообразующего колеса.

На стенде также испытан двоянный газосепаратор 2МН-ГСЛ5Т (рис. 10), выпуск которого был начат по просьбам нефтяников в 1999 г. Он представляет собой два газосепаратора МН-ГСЛ5, расположенные последовательно друг над другом в одном корпусе.

На рис. 11 отражены результаты испытаний газосепаратора 2МН-ГСЛ5 на различных частотах вращения вала (с шагом 10 Гц).

Они однозначно показывают, что применение двоянного сепаратора данной конструкции нецелесообразно,

т.к. улучшения работы, по сравнению с одинарным сепаратором типа МН-ГСЛ5, не наблюдается.

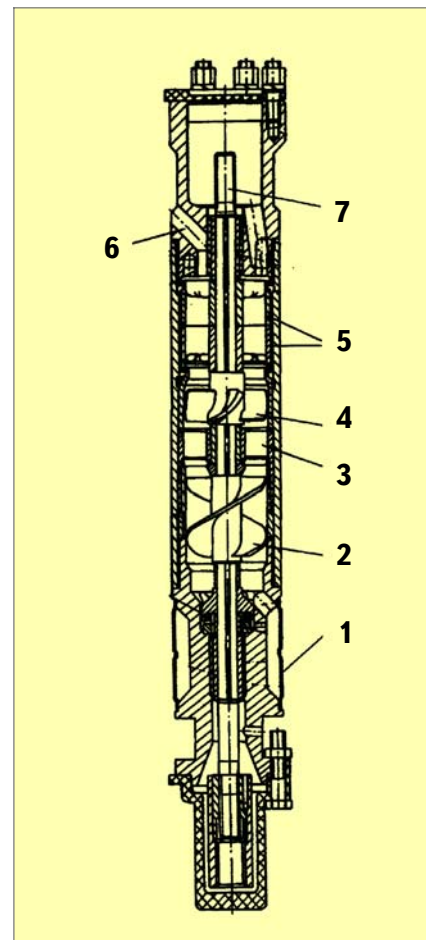


Рис. 8. Газосепаратор МН-ГД5 (аналог МН-ГСЛ5)

1 — приемная сетка, 2 — шнек, 3 — кавернообразующее колесо, 4 — выпрямляющая решетка, 5 — сепарационные барабаны, 6 — узел отвода газа, 7 — вал

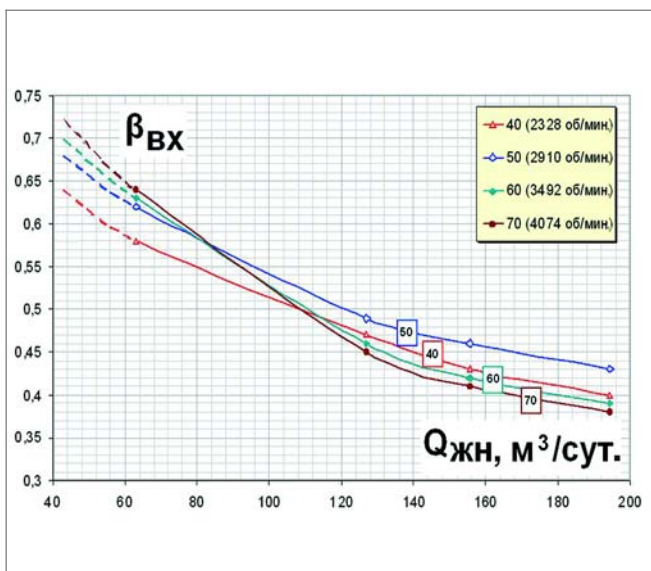


Рис. 9. Зависимость максимального газосодержания на входе от подачи жидкости при остаточном газосодержании 25% для газосепаратора МН-ГД5 при различных частотах

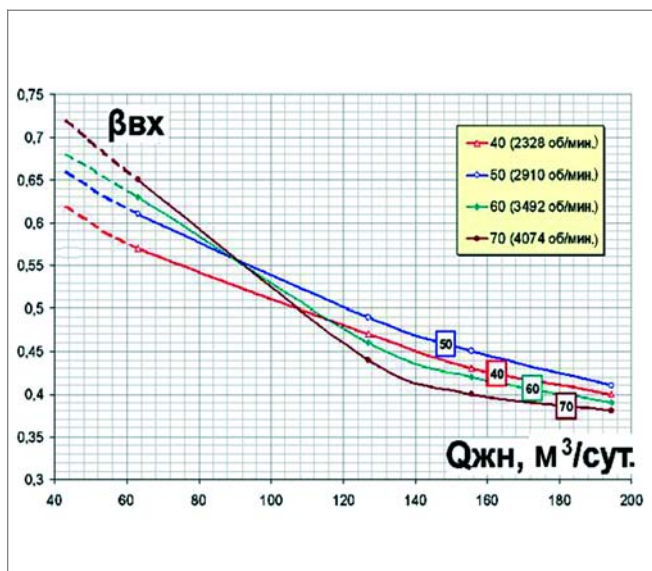


Рис. 11. Зависимость максимального газосодержания на входе от подачи жидкости при остаточном газосодержании 25% для газосепаратора 2МН-ГД5 при различных частотах

Максимальные сепарационные характеристики 2МН-ГД5 показал на частоте вращения вала электродвигателя 50 Гц.

При увеличении частоты с 40 до 50 Гц наблюдается улучшение характеристики сепаратора. Дальнейшее увеличение частоты от 50 до 70 Гц для подач свыше 80 м³/сут. приводит к ухудшению работы сепаратора 2МН-ГД5.

только до частоты 50 Гц. При дальнейшем увеличении частоты от 50 до 70 Гц для подач свыше 80 м³/сут. происходит ухудшение работы сепараторов МН-ГД5 и 2МН-ГД5. По-видимому, это связано с усилением диспергации газовых пузырьков, что затрудняет эффективную сепарацию.

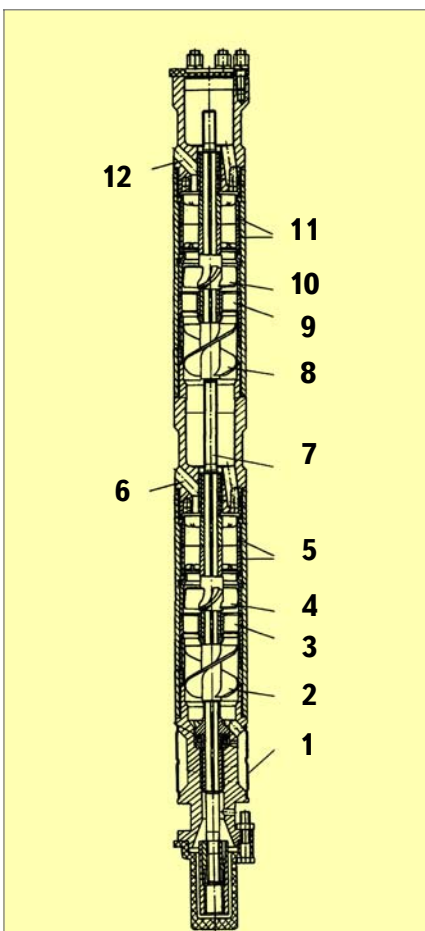


Рис. 10. Сдвоенный газосепаратор 2МН-ГД5Т

1 — приемная сетка, 2, 8 — шнек первой и второй ступени, 3, 9 — кавернообразующее колесо первой и второй ступени, 4, 10 — выправляющая решетка первой и второй ступени, 5, 11 — сепарационные барабаны первой и второй ступени, 6, 12 — узел отвода газа первой и второй ступени, 7 — вал

Таким образом, эксперименты показали, что характеристики различных газосепараторов неоднозначно зависят от частоты вращения вала электродвигателя. У газосепараторов-диспергаторов ГДНК5(5А) параметры работы улучшаются с ростом частоты во всем исследованном диапазоне частот от 20 до 90 Гц, в наибольшей степени — до 50 Гц, в дальнейшем рост частоты менее заметно повышает сепарационную характеристику. Для других сепараторов, испытанных на стенде, улучшение характеристик наблюдается

Полученные результаты позволяют уже на стадии подбора оборудования к скважине обоснованно оценивать эффективность того или иного типа газосепаратора в зависимости от частоты вращения. Кроме того, представленные экспериментальные зависимости дают возможность определить области рационального применения исследованных газосепараторов к УЭЦН при различных частотах вращения вала.

**Литература**

1. А.В. Деньгаев, А.Н. Дроздов, В.С. Вербицкий, Д.В. Маркелов. Эксплуатация скважин, оборудованных высокопроизводительными УЭЦН с газосепараторами // Бурение и нефть. 2005. №2. С.10 — 13.
2. А.В. Деньгаев, А.Н. Дроздов, В.С. Вербицкий. Исследование причин «полетов» газосепараторов в составе УЭЦН // Территория Нефтегаз. 2005. №11. С. 50 — 54.
3. А.В. Деньгаев, А.Н. Дроздов, В.С. Вербицкий, Д.В. Маркелов. Анализ работы центробежных газосепараторов в ОАО «Юганскнефтегаз» // Нефтяное хозяйство. 2006. №2. С.86 — 88.
4. А.с. СССР №1521918. Стенд для испытаний газосепараторов. — Авт. изобрет. Дроздов А.Н., Васильев М.Р., И.В. Варченко и др. — М. кл. F 04 D 15/00, заявл. 25.08.1987, опубл. 15.11.1989, Б.И. №42.1.
5. Патент 2075656 РФ. Способ испытаний гидравлических машин и электродвигателей к ним и стенд для его осуществления. // А. Н. Дроздов, Л. А. Демьянова. М. кл F 04 D 13/10, F 04 F 5/54, F 04 B 51/00; Заявл. 14.03.1995; Опубл. 20.03.1997, Б. И. № 8.
6. А.Н. Дроздов, А.В. Деньгаев, В.С. Вербицкий и др. Испытания газосепараторов различных конструкций к погружным центробежным насосам и др. // Нефтепромысловое дело. 2004. №4. С.49 — 54.
7. А.В. Деньгаев, А.Н. Дроздов, В.С. Вербицкий. Испытания газосепараторов габарита 5А к погружным центробежным насосам // Нефтяное хозяйство. 2004. №6. С.96 — 99.
8. А.В. Деньгаев. Повышение эффективности эксплуатации скважин погружными центробежными насосами при откачке газожидкостных смесей // Дис. канд. техн. наук. М., 2006.