



АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОЗАЩИТНЫХ УСТРОЙСТВ ПРИ КОМПЛЕКТАЦИИ УЭЦН

ВОЛОВОДОВ Александр Васильевич

Главный специалист по технологии добычи нефти ООО «ПК «Борец»

Увеличение объемов трудноизвлекаемых запасов и мероприятия, направленные на интенсификацию отбора нефти, как правило, приводят к росту числа скважин с повышенным газосодержанием и, как следствие, обуславливают необходимость широкого применения газозащитных (газостабилизирующих) устройств (ГСУ) и конических схем сборки ЭЦН. В результате также растут расходы электроэнергии, связанные с использованием ГСУ, которые с каждым годом потребляют все больше электроэнергии. С целью оптимизации затрат на добычу нефти специалисты ПК «Борец» провели анализ энергоэффективности разных видов ГСУ, применяемых в комплектации УЭЦН, при различных условиях и параметрах эксплуатации скважины (дебит, давление, обводненность и содержание свободного газа на приеме насоса). По результатам анализа нам удалось определить набор критериев для подбора оптимальной комплектации УЭЦН, а также выявить группу факторов, косвенно или напрямую влияющих на увеличение энергопотребления и рост энергозатрат на промысле.

Различные виды газозащитных и газостабилизирующих устройств служат для сепарации, диспергирования и сжатия газа. При этом в зависимости от типа устройства и условий эксплуатации существенно расширяется область допустимого газосодержания на приеме электроцентробежного насоса: с 10-30% в случае применения незащищенного ЭЦН до 40-90% при наличии ГСУ. Вместе с тем при сепарации газа в колонне НКТ снижается газлифтный эффект, поскольку часть газа не участвует в подъеме жидкости, а при диспергировании значительно увеличивается энергоемкость процесса добычи из-за того, что на дробление газовой фазы затрачивается большее количество энергии.

В настоящее время в нефтяной промышленности широко применяются следующие типы газозащитных устройств: газосепараторы (ГС), диспергаторы и

мультифазные насосы (МФН), а также комбинированные устройства, состоящие из газосепаратора и диспергатора, или газосепаратора и МФН. Кроме этого, начиная с 1990-х годов за рубежом активно используются конические компоновки ЭЦН: двух- или трехсекционные насосы со ступенями различного типа и производительности, которые характеризуются высоким КПД в условиях переменного расхода сжимаемой жидкости.

АНАЛИЗ ЭНЕРГОЗАТРАТ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ СКВАЖИН С УЭЦН И ГСУ

С целью снижения удельных затрат на добычу нефти мы провели сравнительный анализ энергозатрат на эксплуатацию скважины разными компоновками УЭЦН с ГСУ при различных значениях дебита, давления, обводненности и газосодержания на приеме насоса. В рамках проекта был проведен компьютерный расчет потерь энергии в основных энергопотребляющих узлах скважины: ЭЦН, ГСУ, ПЭД, гидрозащите, кабеле, трансформаторе, станции управления, колонне НКТ — и УЭЦН в целом. Анализировались результаты эксплуатации наиболее эффективных газозащитных устройств производства ПК «Борец», а также результаты стендовых и промысловых испытаний ЭЦН и ГСУ. Анализ энергозатрат проводился в удельном виде. С его помощью мы определили количество энергии (в кВт·ч), необходимое для подъема одной тонны жидкости на высоту 1000 метров.

Для проведения анализа были выбраны насосы серий ЭЦНД и ЭЦНМ габаритных групп 5 и 5А производительностью 50, 125, 200 и 320 м³/сут, а для применения в составе конической компоновки — насосы с подачей от 125 до 200 м³/сутки (рис. 1). Технические характеристики задействованных в про-

Рис. 1. Рабочие характеристики ЭЦН разного типа

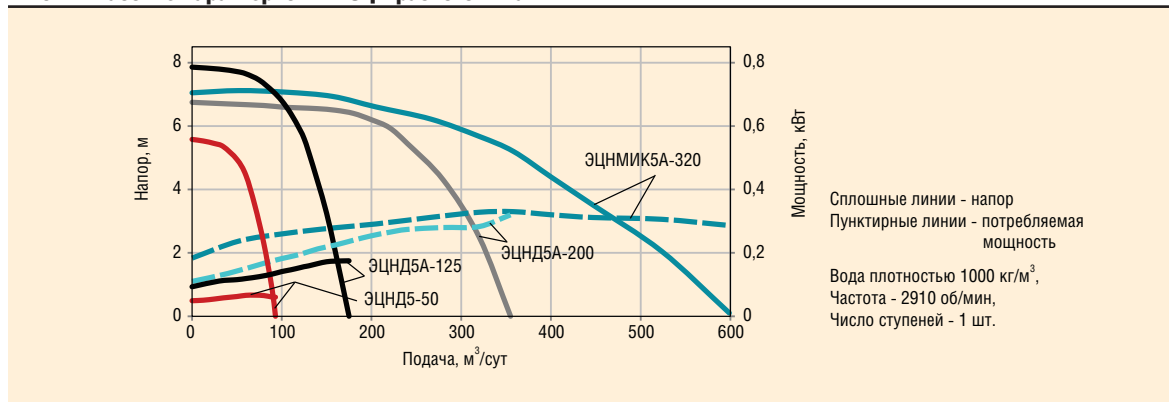
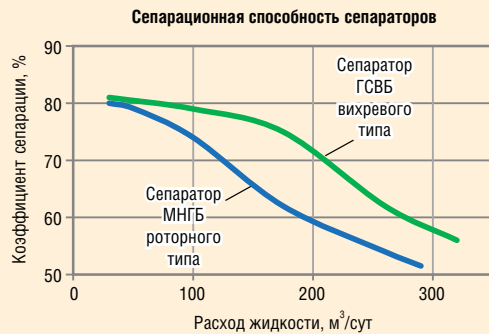
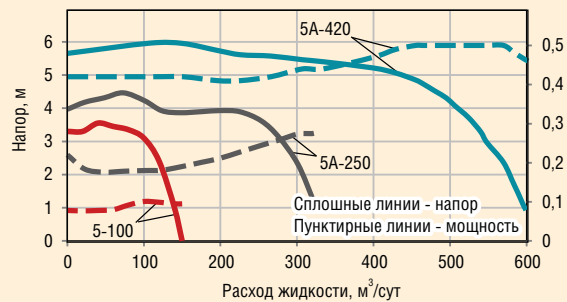


Рис. 2. Рабочие характеристики ГСУ



Рабочие характеристики мультифазных насосов 3.30МНФБ (вода плотностью 1000 кг/м³, частота - 2910 об/мин, число ступеней - 1 шт.)



екте ГСУ представлены в табл. 1 и на рис. 2. Это газосепараторы вихревого (ГСВБ), газосепараторы роторного типа (МНГБ), диспергатор (МНДБЛ), мультифазный насос 3.30МНФБ и устройства, состоящие из газосепаратора-диспергатора МНГДБЛ и газосепаратора-мультифазного насоса.

Результаты проведенных промышленных испытаний оборудования на нескольких месторождениях Западной Сибири показали, что ЭЦН с МФН и ГС стабильно работает при газосодержании на приеме насоса более 80% (табл. 2). Также удалось определить коэффициент сепарации выбранных газосепараторов, на-

Таблица 2

| Параметр | Месторождение | | |
|--------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | X | Y | Z |
| Условный номер скважины | 1 | 2 | 3 |
| Типоразмер ЭЦН | ЭЦНД5 А-250 | ЭЦНД5-200 | ЭЦНД5 А-250 |
| Номинальная подача ЭЦН, м³/сут | 250 | 200 | 250 |
| Тип ГСУ | 3.30МН ФБ5А+ ГС | 3.30МН ФБ5А+ ГС | 3.30МН ФБ5А+ ГС |
| Номинальная подача МФН, м³/сут | 420 | 250 | 420 |
| Дебит жидкости, м³/сут | 110 | 100 | 87 |
| Обводненность, % | 80 | 20 | 10 |
| Газосодержание на приеме, % | 71 | 73 | 81 |

Таблица 1

Технические характеристики ГСУ разного типа

| Устройство | Максимальная потребляемая мощность, кВт | Максимальное газосодержание, % | Развиваемый напор, м |
|----------------------------------|---|--------------------------------|----------------------|
| ГС вихревого типа ГСВБ | 0,8–1,0 | 70 | 0 |
| ГС роторного типа МНГБ | 1,5–2,0 | 60 | 0 |
| Диспергатор МНДБЛ | 2,2 | 45 | 0 |
| Мультифазный насос 3.30МНФБ | 8–35 | 70 | 50 ÷ 450 |
| Газосепаратор-диспергатор МНГДБЛ | 2,2–5,5 | 75 | 0 |
| Газосепаратор-мультифазный насос | 9–36 | 90 | 50 ÷ 450 |

Таблица 3

Технические характеристики электрооборудования

| Параметр | Значение |
|--|----------|
| Частота питающей сети, Гц | 50 |
| Номинальная мощность двигателя (асинхронный ПЭД типа ЭДБ), кВт | 45–125 |
| Номинальный КПД двигателя, % | 84–86 |
| Мощность, потребляемая гидрозащитой (типа ПБ), кВт | 0,4–0,6 |
| Сечение жилы кабеля, мм² | 16 |
| Потери мощности в трансформаторе, % | 3 |
| Потери мощности в станции управления, % | 5 |

Рис. 3. Сравнение параметров энергопотребления газосепараторов различного типа

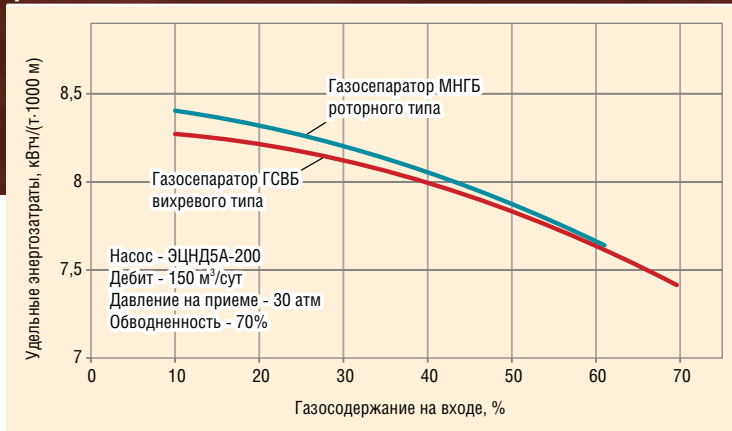


Рис. 4. Энергопотребление УЭЦН с ГСУ разного типа

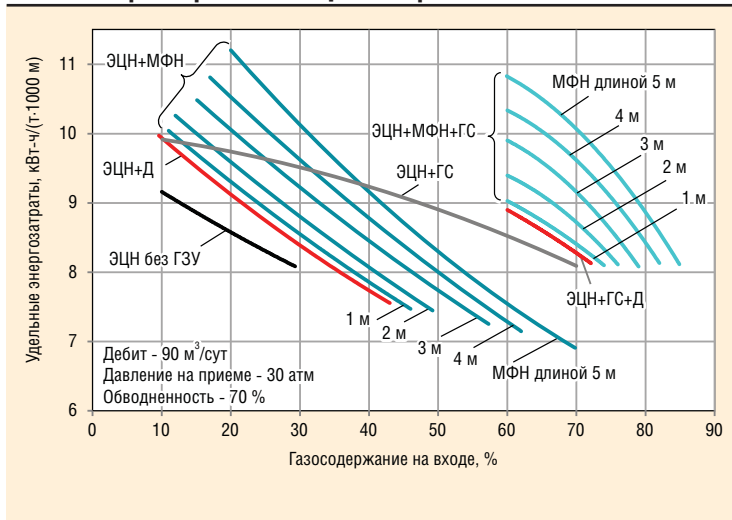
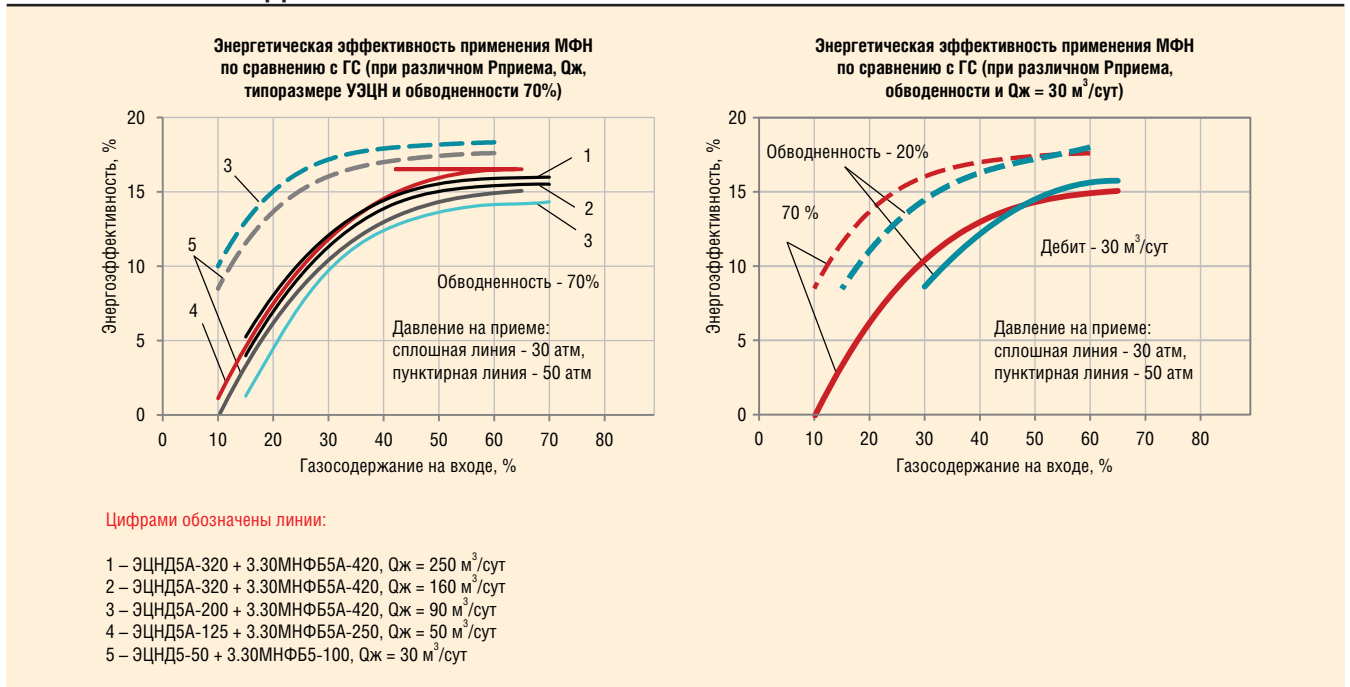


Рис. 5. Относительная эффективность МФН и ГС



порно-расходные характеристики мультифазных насосов и максимальную потребляемую мощность каждого узла. Видно, что МФН потребляет мощность от 8 до 35 кВт в то время, как потребление газосепаратора составляет порядка 1 кВт. Разница довольно существенная, однако, как показали дальнейшие исследования, устройства все же могут конкурировать между собой по показателям энергоэффективности.

В табл. 3 приведены технические характеристики применявшегося электрооборудования: серийного асинхронного двигателя, гидрозащиты, кабеля, трансформатора и станции управления.

Компьютерный расчет был проведен для типичных скважинных условий месторождений Западной Сибири (табл. 4). Как видно, газожидкостной фактор изменялся в диапазоне от 11 до 350 м³/м³. Дебит жидкости был принят от 30 до 250 м³/сут, давлений на приеме насоса варьировало в диапазоне 30-50 атм, вязкость жидкости составила 1,5 сПз.

Полученные с помощью компьютерной программы величины были приведены к удельному виду с размерностью кВт·ч/(т·1000 м). На их основе впоследствии были построены зависимости энергопотребления УЭЦН от типа применяемого ГСУ (рис. 3), из которых следует, что по сравнению с УЭЦН с ГС роторного типа УЭЦН с вихревым газосепаратором потребляют несколько меньше энергии (до 1%) и характеризуются

Таблица 5

| Зависимость значения предельно допустимого газосодержания от количества секций МФН | | | | | |
|--|---------------------|----|----|----|----|
| Параметр | Длина модуля МФН, м | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Максимальное газосодержание на приеме насоса, % | 40 | 45 | 50 | 60 | 70 |

более широким диапазоном предельно допустимого газосодержания на приеме насоса.

В свою очередь, сравнение энергопотребления УЭЦН с различными типами газозащитных устройств показывает, что применение последних увеличивает энергозатраты по сравнению с эксплуатацией незащищенного ЭЦН. Так, при использовании ГС затраты возрастают на 18%, диспергатора и 14-ступенчатого МФН — на 8% (в обоих случаях), 80-ступенчатого МФН — на 25% (рис. 4).

Также наш анализ показывает, что увеличение длины МФН на один метр приводит к росту энергозатрат на 3-6%. Таким образом, МФН длиной один метр примерно на 15% экономичнее пятиметрового МФН. С другой стороны, уменьшение длины МФН приводит к снижению предельно допустимого количества газа на приеме насоса (табл. 5). Следовательно, для снижения энергопотребления целесообразно снижать число ступеней МФН до минимально необходимого.

Важно отметить и то, что при газосодержании свыше 50% максимальная энергоэффективность МФН составляет 14-18%, а при росте давления от 30 до 50 атм на 3-4% увеличивается энергетический эффект. При этом обводненность и дебит оказывают незначительное влияние на параметры работы мультифазного насоса (рис. 5).

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ УГЛА НАКЛОНА СТВОЛА СКВАЖИНЫ НА ЭНЕРГОЗАТРАТЫ

Помимо прочего, мы проанализировали влияние угла наклона ствола скважины на изменение параметров энергопотребления. В результате удалось установить, что увеличение угла наклона приводит к росту энергозатрат на подъем жидкости. Причем с ростом газосодержания оказываемый эффект только усиливается. К примеру, при угле наклона 50° и газосодержании 50% на приеме насоса происходит 10-11%-ное увеличение энергопотребления (рис. 6).

Рис. 6. Влияние угла наклона ствола скважины на энергозатраты

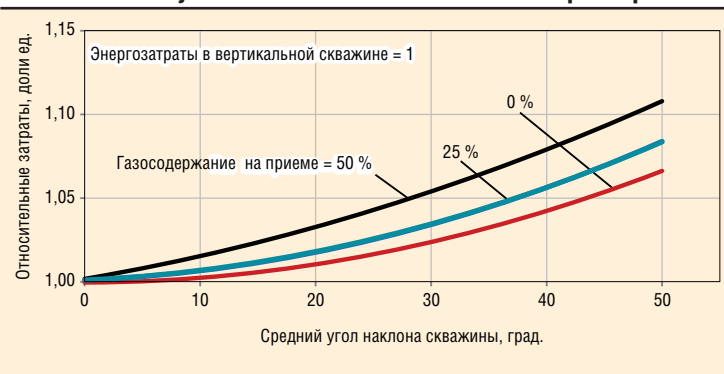


Рис. 7. Энергопотребление и энергоэффективность конусной сборки УЭЦН

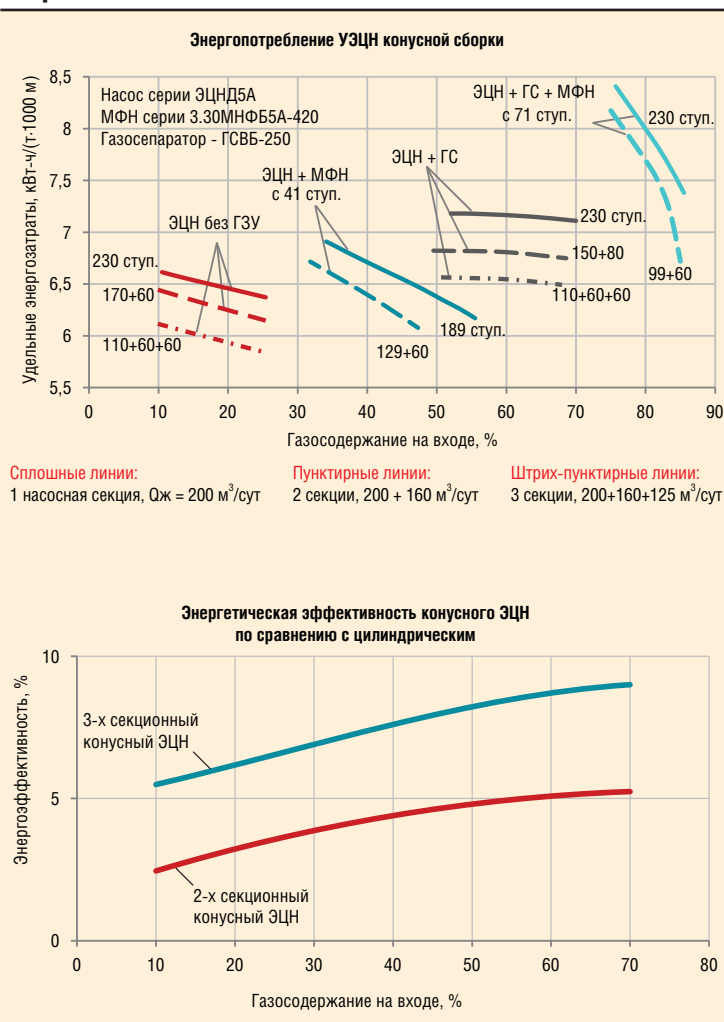
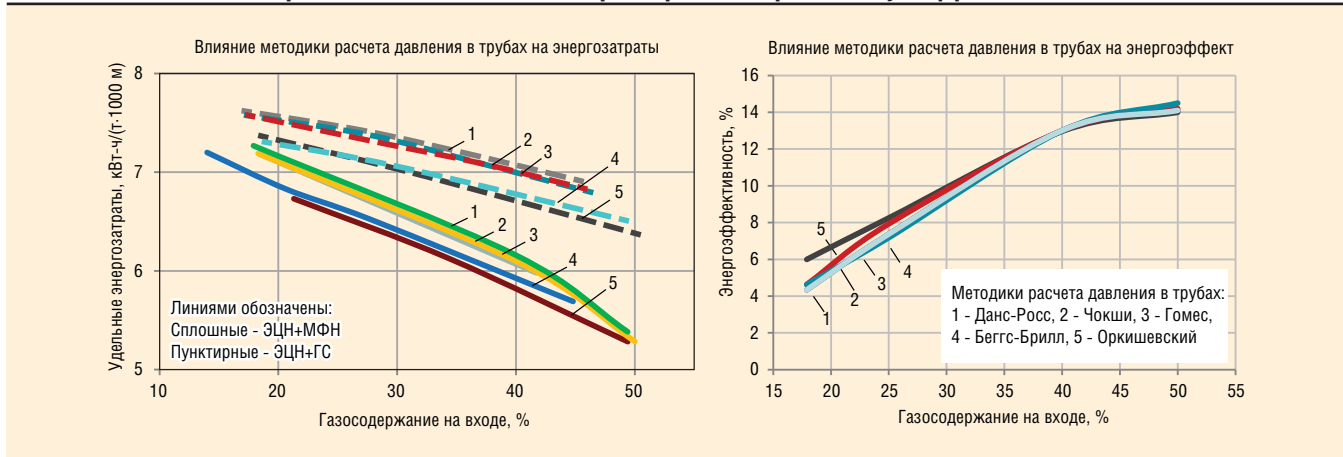


Рис. 8. Влияние методики расчета давления в НКТ на энергозатраты и энергетическую эффективность



АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ КОНУСНОЙ СБОРКИ УЭЦН

Из графиков, представленных на рис. 7, следует, что применение конусной сборки УЭЦН разной конфигурации намного эффективнее использования цилиндрической компоновки. Однако энергетическая эффективность конусной УЭЦН напрямую зависит от содержания газа и количества секций насоса. К примеру, при 10-70%-ном газосодержании энергопотребление двухсекционной компоновки увеличивается на 2-6%, трехсекционной — на 6-9%.

АНАЛИЗ МЕТОДИК РАСЧЕТА ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ В НКТ

Расчет потерь давления в НКТ проводился с применением пяти разных методик (Данса — Росса, Чокши, Гомеса, Беггса — Брилла и Оркишевского), обладающих определенной погрешностью. Результаты сравнительного анализа показали, что максимальный разброс при расчете перепада давления в колонне НКТ по различным методикам составляет 7,5%, а по методике Оркишевского — 22,5%. При расчете удельных энергозатрат разброс составил 5,4 и 9,8% соответственно. Вместе с тем выбор методики для расчета потерь давления практически никак не влияет на значение относительного энергоэффекта, при оценке которого был получен минимальный разброс — 1 и 1,6% (рис. 8).

ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ДЕЙСТВИЙ ПРИ РАСЧЕТЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ГСУ НА ПРОМЫСЛЕ

Приведенный подход к анализу энергопотребления позволяет определить уровень энергозатрат для раз-

личных условий эксплуатации скважин и подобрать оптимальную комплектацию УЭЦН для каждого случая. При этом обработку промысловых данных следует выполнять в следующей последовательности: сначала замеряются подведенная к скважине мощность, максимальные дебит и динамический уровень, после чего на основе полученных результатов проводится расчет удельных затрат и газосодержания на приеме насоса. Далее скважины группируются по влияющим признакам (давление на приеме, наклон скважины и др.) или с их учетом по приведенным кривым. На завершающем этапе строится зависимость удельных затрат от газосодержания для различных видов оборудования, по которой уже можно дать экспресс-оценку энергоэффективности газозащитного устройства того или иного типа.

ВЫВОДЫ ПО ИТОГАМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Таким образом, результаты представленного энергетического анализа позволяют сделать ряд конструктивных выводов. Во-первых, энергоэффективность УЭЦН с газозащитными устройствами напрямую зависит от их типа, типоразмера и условий эксплуатации. Во-вторых, снижение числа ступеней МФН обеспечивает экономию электроэнергии в диапазоне от 3 до 15%, но при этом снижается значение предельно допустимого газосодержания на приеме насоса. В-третьих, применение диспергатора или мультифазного насоса с оптимальным количеством ступеней вместо газосепаратора снижает энергозатраты (в широком диапазоне газосодержания) на 3-18%. И в-четвертых, применение конической компоновки ЭЦН также позволяет снизить энергопотребление — на 2-9% в зависимости от значения содержания газа и числа секций ЭЦН. ♦