



# ВОПРОСЫ ВЫБОРА ЭЛЕКТРОПРИВОДНЫХ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ СРЕДНЕЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ СИСТЕМ НЕПРЕРЫВНОГО ДОЗИРОВАНИЯ ЖИДКОСТИ

**БУРДАНОВ Владимир Николаевич**  
 Генеральный директор  
 ООО «Завод дозирочной техники «Ареопаг», к.т.н.

+7 (812) 703-11-55  
 info@areopag-spb.ru



**Б**локи непрерывного дозирования реагентов (БНДР) широко применяются в разных отраслях промышленности, но особенно востребованы они на предприятиях нефтегазового сектора. С помощью БНДР решается целый ряд технологических задач. В частности, от выбора дозирочных устройств напрямую зависит эффективность применяемых методов защиты нефтепромыслового оборудования от различных осложняющих факторов. Для построения современных точных систем дозирования жидкости ООО «Завод дозирочной техники «Ареопаг» предлагает заказчикам плунжерные и мембранные электроприводные насосные агрегаты. В настоящей статье представлены многоголовочные насосные устройства средней мощности с регулированием подачи жидкости частотным методом.

К насосным агрегатам средней мощности относятся агрегаты с гидравлической мощностью  $P_u$  от 7 до 48 кВт (мощность приводного электродвигателя 11-75 кВт).

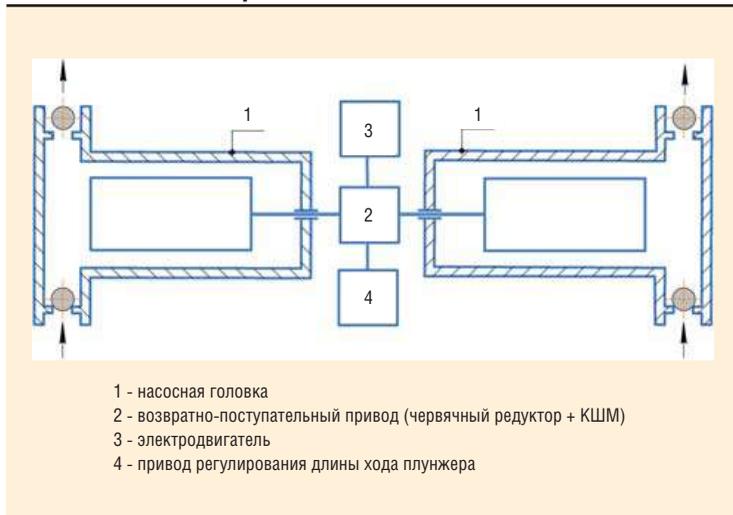
Гидравлическая мощность насоса  $P_u$  – мощность, передаваемая насосом жидкости, – в инженерной практике определяется выражением

$$P_u = Q (p_2 - p_1) : 3,6,$$

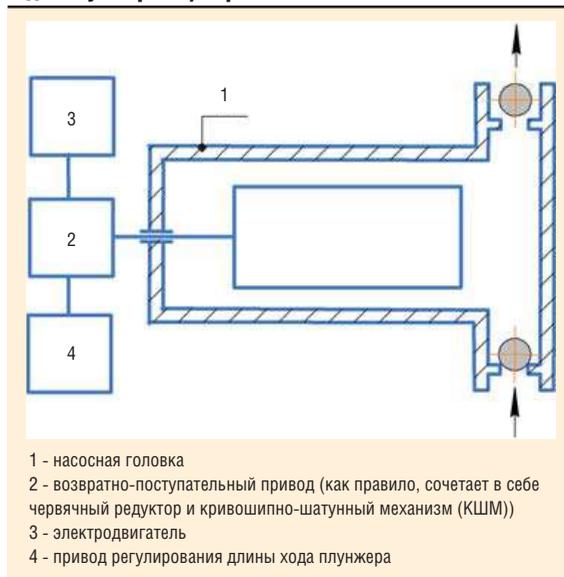
где  $Q$  – подача насоса [ $\text{м}^3/\text{ч}$ ];  $p_2$  – давление в выходном поперечном сечении [ $\text{МПа}$ ];  $p_1$  – давление во входном поперечном сечении [ $\text{МПа}$ ].

Примером применения таких агрегатов в нефте- и газодобыче может служить построение станций дозирования метанола с подачей 2-15  $\text{м}^3/\text{ч}$  и давлением на выходе  $p_2$  до 32 МПа.

**Рис. 2. Оппозитный агрегат**



**Рис. 1. Односторонний (одноголовочный, одноплунжерный) агрегат**



## СХЕМЫ ПОСТРОЕНИЯ ДОЗИРОВОЧНЫХ АГРЕГАТОВ

Рассмотрим основные схемы построения дозирочных агрегатов средней мощности на базе возвратно-поступательных приводов с асинхронным приводным двигателем, наиболее востребованных в промышленности.

В настоящее время применяются одноголовочные (рис. 1) или двухголовочные (оппозитные) агрегаты (рис. 2), которые при необходимости увеличения  $P_u$  агрегата могут компоноваться в блочные агрегаты с несколькими насосными головками с общим приводом.

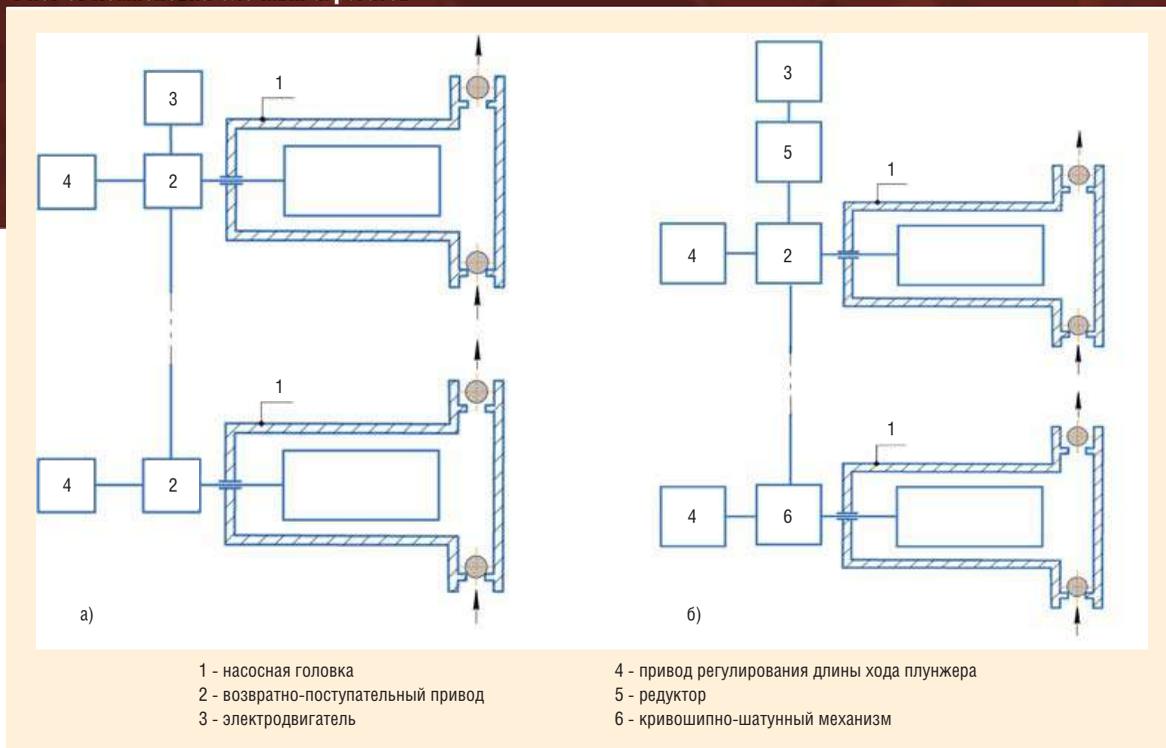
Компоновка блочных агрегатов может выполняться только с общим электродвигателем (рис. 3а) или с общими электродвигателем и редуктором (рис. 3б) как с горизонтальным, так и с вертикальным расположением главного вала (рис. 4, 5)[1]. Количество агрегатов в блоке, как правило, не превышает шести.

В случае компоновки по схеме, приведенной на рис. 3а, есть возможность установить разное значение номинального числа ходов плунжера.

При создании блочных агрегатов средней мощности все агрегаты блока работают на один нагнетательный трубопровод. Однако применяются также и блоки, в которых каждый насосный агрегат работает на свою нагнетательную линию (рис. 4, 5). Анализ целесообразности такого решения остается за рамками данной статьи.

Рассмотренные схемы объединяет использование отдельного подвода жидкости к всасывающему клапану каждой насосной головки. При этом число ходов плунжера привода насосной головки находится в пре-

Рис. 3. Компоновка блочных агрегатов



делах 80-160 ход/мин, а средняя скорость его движения не превышает 0,3 м/с.

К преимуществам такой конструкции агрегата относят возможность регулирования величины подачи насоса изменением длины хода плунжера в широком диапазоне (диапазон регулирования 0-100 %, рабочий (10-20)-100%).

При этом надо учесть, что для дистанционного изменения длины хода плунжера насосы должны быть дополнительно оснащены приводом механизма регулирования, как правило, электромеханическим. Возможно также регулирование подачи изменением числа ходов плунжера и сочетание обоих способов регулирования подачи.

Именно метод регулирования подачи изменением длины хода плунжера для дозирующих агрегатов предусмотрен стандартом API 675 [2], первая редакция которого издана в 1993 году.

Стандарт предъявляет достаточно жесткие требования к линейности и повторяемости подачи, что должно обеспечить ее заданную величину при работе агрегатов в системе дозирования без обратной связи.

## МНОГОПЛУНЖЕРНЫЕ НАСОСЫ

Давно известна и широко применяется схема построения многоплунжерных насосов. Чаще всего применяются насосы с тремя (рис. 6) и пятью плунжерами. Конструктивно редукторы и кривошипно-шатунный механизм могут быть объединены.

Главная особенность построения таких насосов заключается в наличии общей для всех плунжерных пар клапанной коробки. Такая компоновка позволяет увеличить среднюю скорость привода плунжера насосной головки до значений 0,8-1,5 м/с и значительно улучшить массогабаритные характеристики агрегата.

Для сравнения рассмотрим пример выполнения плунжерного дозирующего агрегата номинальной подачи 1800 л/ч с давлением на выходе 16 МПа,  $P_u = 7,7$  кВт по схемам, приведенным на рис. 1 и рис. 6.

Основные параметры плунжерных агрегатов представлены в таблице. Как видно из таблицы, трехплунжерный агрегат значительно легче, занимает меньшую площадь, использует электродвигатель меньшей мощности (требуется меньший крутящий момент). Кроме того, его основные узлы работают в менее напряженном состоянии.

В пользу трехплунжерного агрегата говорит и сравнение графиков подачи, приведенное на рис. 7 (на рисунке представлены идеальные графики подачи, определенные аналитически).

Равномерность объемной подачи всегда предпочтительна по целому ряду причин и особенно важна при дозировании реагента в поток жидкости. Отметим, что сглаживание потока на выходе агрегата с помощью пневмогидроаккумулятора (ПГА), например, с величиной остаточной пульсации 3%, потребует для одноголовочного агрегата с рассматриваемой величиной подачи полный газовый объем ПГА, равный 4 л (подача за один полный ход плунжера 0,2 л), а для трехголовочного агрегата – только 0,2 л (подача за один полный ход плунжера 0,037 л).

Несмотря на отмеченные серьезные преимущества, многоплунжерные агрегаты не находят широкого применения для дозирования жидкости в связи с устойчивым мнением о сложности регулирования величины подачи.

Действительно, построение механизма регулирования величины подачи изменением длины хода плунжера привода при такой схеме компоновки весьма сложно, хотя такие агрегаты и изготавливаются за рубежом несколькими предприятиями.

Основные технические параметры одноголовочного и трехголовочного плунжерного агрегата		
Параметры	Схема агрегата	
	Согласно рис. 1	Согласно рис. 6
Описание агрегата	Одноголовочный плунжерный агрегат	Трехголовочный плунжерный агрегат
Число ходов плунжера, мин <sup>-1</sup>	149	270
Частота вращения вала приводного электродвигателя, об./мин	1500	
Передаточное отношение редуктора	9,75	5,56
Количество плунжеров	1	3
Диаметр плунжера, мм	56	36
Мощность электродвигателя, кВт	15	11
Усилие на плунжере, кН	40	16
Габариты, ДхШхВ, мм	1530x1460x1140	1880x950x670
Масса, кг	1248	900

### РЕГУЛИРОВАНИЕ ПОДАЧИ

Еще 10-15 лет назад неоспоримым преимуществом обладали схемы, приведенные на рис. 1-3, над схемой из рис. 6. Однако с развитием промышленной электроники, в частности, преобразователей частоты (ПЧ), и разработки исполнений электродвигателей для работы от ПЧ на пониженных частотах, в том числе во взрывозащищенном исполнении, это преимущество потеряло всякий смысл. Регулирование объемной подачи насоса в диапазоне 1:10 в настоящее время легко осуществляется изменением числа ходов плунжера с помощью ПЧ.

Из двух основных известных методов регулирования подачи насосов возвратно-поступательного действия (регулирование длины хода плунжера и регулирование частоты его ходов) ни один не может считать-

ся априори более предпочтительным с точки зрения гидравлики.

Эффективность применения одного из рассматриваемых методов зависит от способа регулирования длины хода плунжера и множества других факторов и при необходимости должна исследоваться отдельно.

При частотном методе регулирования минимизация погрешности подачи обеспечивается построением систем дозирования с обратной связью, что легко реализуется с применением ПЧ. Но и при работе системы дозирования без обратной связи параметры линейности и повторяемости подачи агрегатом находятся на уровне, достигаемом при регулировании подачи изменением длины хода плунжера.

Отдельно надо рассматривать варианты реализации глубокого регулирования подачи одним агрегатом либо построением системы дозирования из нескольких агрегатов. В данном случае следует учитывать следующие факторы:

- регулирование подачи изменением длины хода плунжера при мощности менее 25% от ее номинального значения приводит к резкому падению КПД электродвигателя;
  - при регулировании подачи изменением частоты ходов плунжера можно увеличить требуемое значение минимальной частоты вращения электродвигателя.
- Очевидно, что все вышесказанное относится также и к построению агрегатов с мембранной насосной головкой (рис. 8), которые на сегодняшний день вышли на стадию серийного производства [3].

### ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ

ПЧ в рассматриваемом нами диапазоне мощностей серийно представлен на рынке. При питании приводных двигателей агрегата от ПЧ необходимо внимательно относиться к выбору самого электродвигателя и ПЧ согласно ГОСТ [4].

Следует отметить, что при применении частотного метода привод агрегата должен быть предназначен для работы на пониженных частотах.

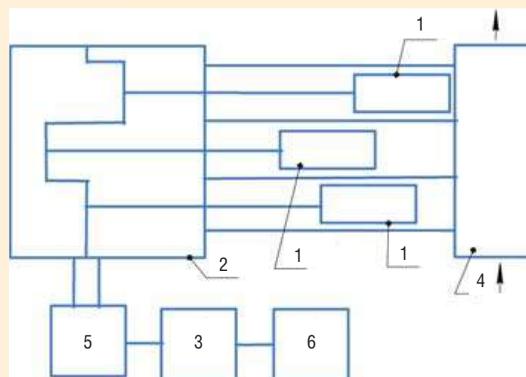
**Рис. 4. Блочный агрегат с горизонтальным расположением главного вала с пятью мембранными насосами и мощностью электродвигателя 18,5 кВт**



**Рис. 5. Блочный агрегат с вертикальным расположением главного вала с двумя плунжерными оппозитными насосами и мощностью электродвигателя 7,5 кВт**



**Рис. 6. Схема трехплунжерного насосного агрегата**



- 1 - насосная головка
- 2 - КШМ
- 3 - электродвигатель
- 4 - клапанная коробка
- 5 - редуктор
- 6 - преобразователь частоты

При работе от сети наблюдается синусоидальная форма кривых напряжения и тока. При работе от ПЧ эти кривые утрачивают синусоидальный вид, что влияет на характеристики двигателя.

#### СИСТЕМА ВЕНТИЛЯЦИИ ДВИГАТЕЛЯ

Основная проблема многоплунжерных агрегатов связана с системой вентиляции двигателя. Стандартные двигатели выпускаются с собственным вентиля-

тором, работающим с числом оборотов самого электродвигателя.

При этом за счет уменьшения потока охлаждающего воздуха при снижении частоты моментная характеристика нагрузки должна быть уменьшена из условия сохранения перегрева обмотки статора. Кривая мощности на валу электродвигателя  $P_2$  в диапазоне 0-50 Гц уменьшается прямо пропорционально уменьшению оборотов двигателя.

**Рис. 7. Графики значений моментной подачи одноплунжерного и трехплунжерного агрегатов**

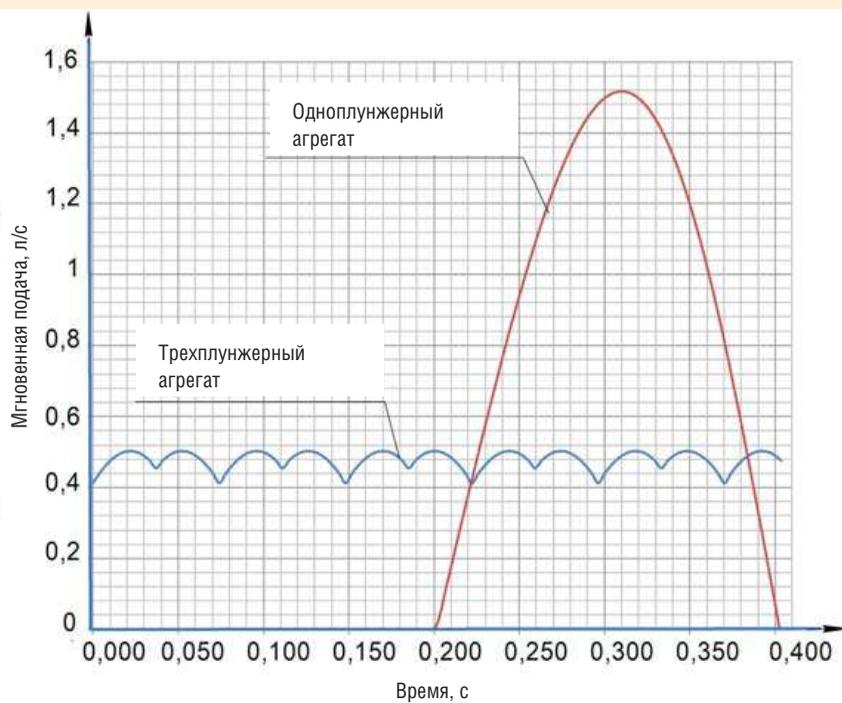


Рис. 8. Трехголовочный мембранный агрегат, мощность электродвигателя 23 кВт



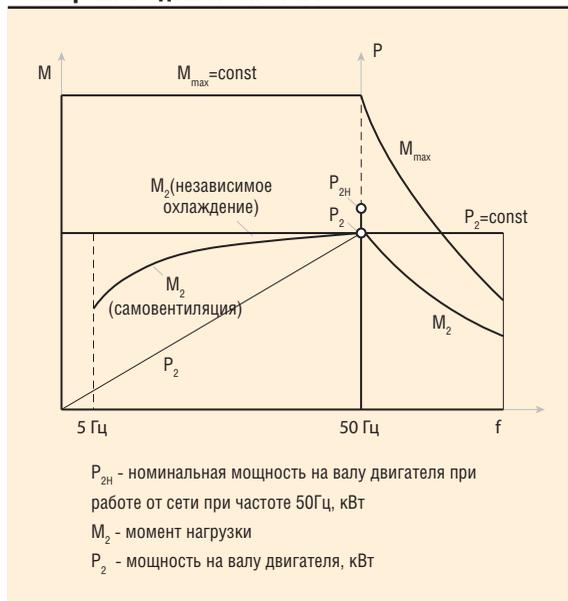
На рис. 9 представлены основные характеристики работы асинхронного двигателя от ПЧ. К особенностям работы рассматриваемого нами вида агрегатов относятся независимый от числа ходов плунжера постоянный момент нагрузки и уменьшающаяся прямо пропорционально числу ходов гидравлическая мощность.

Двигатели общепромышленного исполнения серийно выпускаются с узлом независимой вентиляции [5]. При работе от ПЧ необходимо учесть возможное снижение регламентируемой мощности при работе от сети.

В случае применения двигателей с самовентиляцией необходимо выбирать двигатель, исходя из условия обеспечения момента нагрузки на минимальной рабочей частоте (как правило, это следующий двигатель в мощностном ряду).

Производители электродвигателей, в том числе и взрывозащищенных, приводят их параметры при ра-

Рис. 9. Основные характеристики работы асинхронного двигателя от ПЧ



боте от ПЧ [6], необходимые для численного построения моментной характеристики конкретного типоразмера двигателя.

Дополнительным «бонусом» при применении многоголовочных агрегатов с частотным методом регулирования подачи может быть работа с небольшим превышением рабочей частоты двигателя, что также обеспечивается ПЧ. Однако это превышение может быть небольшим, так как при росте частоты растет гидравлическая мощность агрегата и резко падает момент нагрузки электродвигателя (рис. 9). При этом электродвигатель не перегружается, и можно учесть запас мощности, который был выбран для обеспечения его работы на низкой частоте.

## ВЫВОДЫ

Для построения современных точных систем дозирования жидкости не требуется применение специальных «дозировочных» насосов (по ГОСТ ISO 17769-1-2014 дозировочный насос – насос, обеспечивающий подачу с заданной точностью).

При выборе дозировочных электроприводных насосных агрегатов средней мощности для построения непрерывных систем дозирования целесообразно применение регулируемых многоголовочных агрегатов (плунжерных мембранных), работающих по схеме с общими клапанными коробками (всасывающей и нагнетательной) с регулированием подачи частотным методом. При этом обеспечивается диапазон регулирования подачи 1:10 и выполнение самых жестких требований к ее погрешности. ♦

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурданов В.Н. Дозирование жидкости объемными насосами. СПб: ДЕАН, 2020. 348 с.
2. API STANDARD 675. Positive Displacement Pumps — Controlled Volume for Petroleum, Chemical, and Gas Industry Services, third edition, November 2012 (Поршневые насосы прямого вытеснения для нефтяной, химической и газовой промышленности).
3. Рекламный проспект ООО «Завод дозировочной техники «Ареопэг». Трехголовочные мембранные агрегаты средней мощности, 2021.
4. ГОСТ Р МЭК/ТС 60034 – 17 - 2009. Машины электрические вращающиеся. Часть 17. Руководство по применению асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором при питании от преобразователей.
5. Трехфазные низковольтные частотно-регулируемые электродвигатели с короткозамкнутым ротором общепромышленного исполнения. Каталог. Ярославский машиностроительный завод.
6. Взрывозащищенные трехфазные электродвигатели с короткозамкнутым ротором. Каталог. Ярославский машиностроительный завод.