

# Концептуальная модель автоматизированной дожимной насосной станции нефтегазотранспорта

Е.А. Муравьева  
Филиал УГНТУ в г. Стерлитамаке  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Стерлитамак, Российская Федерация  
e-mail: [muraveva\\_ea@mail.ru](mailto:muraveva_ea@mail.ru)

М.И. Шарипов  
Филиал УГНТУ в г. Стерлитамаке  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Стерлитамак, Российская Федерация  
e-mail: [muraveva\\_ea@mail.ru](mailto:muraveva_ea@mail.ru)

А.А. Емекеев  
Факультет энергетики и автоматики  
Альметьевский государственный нефтяной  
институт  
Альметьевск, Российская Федерация  
e-mail: [saturn-s5@mail.ru](mailto:saturn-s5@mail.ru)

А.М. Сагдатуллин  
Факультет энергетики и автоматики  
Альметьевский государственный нефтяной  
институт  
Альметьевск, Российская Федерация  
e-mail: [saturn-s5@mail.ru](mailto:saturn-s5@mail.ru)

## Аннотация<sup>1</sup>

Так как насосы и насосные станции технологических процессов сбора, поддержания пластового давления, транспорта и подготовки нефти составляют более 50 % в общей смете затрат на электроэнергию нефтегазодобывающего предприятия, актуальным вопросом является разработка и применение систем интеллектуального управления для повышения энергоэффективности данных процессов. В данной работе предложена система управления электроприводом насосной станции на основе трехмерного нечеткого логического регулятора, входные и выходные переменные которого представлены совокупностью термов с прямоугольной формой функции принадлежности (четких термов). Данная система позволяет стабилизировать уровень нефти на отметке 2,5 м. с абсолютной погрешностью  $\pm 0,2$  м., а также повысить показатели качества подготовки нефтяной эмульсии на установке подготовки нефти.

## 1. Введение

Насосы и насосные станции систем сбора, поддержания пластового давления, транспорта и подготовки нефти являются важными объектами в нефтегазодобывающей сфере, так как обеспечивают:

- сбор и первичную подготовку продукции скважин на дожимных насосных станциях (ДНС), расположенных в непосредственной близости к автоматизированным групповым замерным установкам (АГЗУ);

- подготовку подтоварной воды на установках предварительного сброса воды (УПСВ) и ее дальнейшую перекачку на кустовые насосные станции (КНС);

- обеспечение метрологических показателей узлов измерения количества и качества продукции скважин на каждом из этапов;

- транспорт товарной нефти с установки подготовки нефти (УПН) в магистральные трубопроводы при помощи нефтеперекачивающих насосных станций (НПС), расположенных на расстояниях до 15 км [1, 2].

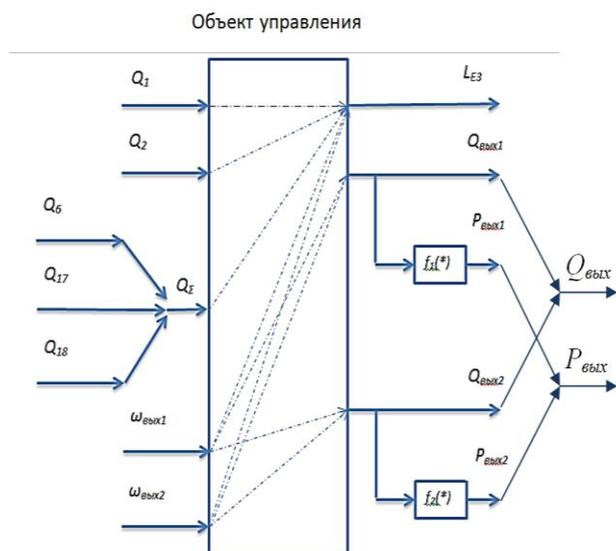
Следовательно, актуальной является задача энергосбережения и повышения эффективности работы насосных станций системы сбора, поддержания пластового давления, транспорта и подготовки нефти. Решение поставленной задачи возможно путем разработки и применения новых систем автоматизации данных технологическим процессом, так как анализ традиционных схем регулирования процессами на предприятиях нефтепереработки и нефтехимии, основанных на пропорционально-интегрально-дифференциальных (ПИД) регуляторах показал, что на наиболее сложных объектах регулирования традиционные ПИД-регуляторы недостаточно эффективны в силу ряда особенностей и специфики протекания данных технологических процессов [3].

<sup>1</sup>Труды второй международной конференции "Интеллектуальные технологии обработки информации и управления", 10 - 12 ноября, Уфа, Россия, 2014

## 2. Концептуальная модель дожимной насосной станции

Технологическая схема рассматриваемой насосной станции включает в свой состав два асинхронных электродвигателя (АД), преобразователь частоты, микропроцессорный контроллер, центробежные насосы (основной  $H-1$  и резервный  $H-2$ ), трубопроводную арматуру и резервуар ( $E-3$ ).

Программируемый логический контроллер составляет основу системы автоматизации ДНС и производит математические и логические операции, необходимые действия для управления технологическим процессом транспорта нефти, а также осуществляет управление (ПИД-регулятор) в зависимости от динамики протекания рабочих процессов станции [38, 56, 57]. Однако, ПИД-регуляторы, составляющие основу систем автоматизированных электроприводов с преобразователями частоты, не позволяют обеспечить высокое качество управления нелинейными технологическими процессами, к которым относятся объекты ДНС. Следовательно, повышаются энергозатраты и значительно снижается энергосберегающий эффект от внедрения ЧРЭП. На рисунке 2.2 изображена концептуальная модель дожимной насосной станции [45].



**Рис. 1. Концептуальная модель дожимной насосной станции, где:  $Q_{\text{вых}}$ ,  $P_{\text{вых}}$  – расход и давление на выходе ДНС, составленные из отдельных значений расходов  $Q_1$ ,  $Q_2$  и давлений  $P_1$ ,  $P_2$  – на выходе насосов  $H-1$  и  $H-2$ .**

Входными переменными являются  $Q_6$  – расход через клапан 6 (рисунок 2.1) поступающей эмульсии в резервуар с ДНС-1с,  $Q_{17}$  – расход через клапан 17 поступающей эмульсии в резервуар с ЦДНГ-1,  $Q_{18}$  – расход через клапан 18 поступающей эмульсии в резервуар с РВС-1,  $\omega_{\text{вых}1}$  – угловая скорость на выходе основного насоса,  $\omega_{\text{вых}2}$  – угловая скорость на выходе резервного насоса,  $Q_{\Sigma}$  – суммарный расход нефтяной эмульсии, поступающей на ДНС.

Выходными переменными ДНС являются: уровень жидкости  $L_{E3}$  в резервуаре,  $Q_{\text{вых}1}$ ,  $P_{\text{вых}1}$  – расход и давление соответственно на выходе основного насоса  $H-1$ ,  $Q_{\text{вых}2}$ ,  $P_{\text{вых}2}$  – расход и давление соответственно на выходе резервного насоса  $H-2$ ,  $f_1(*)$  и  $f_2(*)$  – функции преобразования  $P_{\text{вых}1}$  и  $P_{\text{вых}2}$  в зависимости от  $Q_{\text{вых}1}$  и  $Q_{\text{вых}2}$ ,  $Q_1$ ,  $Q_2$  – каналы обратной связи, составленные из отдельных значений расходов  $Q_{\text{вых}1}$  и  $Q_{\text{вых}2}$  на выходе насосов  $H-1$  и  $H-2$ .

Зависимость напора и расхода насоса от угловой скорости электродвигателя описывается следующим нелинейным выражением [107]:

$$H = \frac{H_{\phi}}{\omega_N^2} \omega^2 - S_{\phi} Q^2, \quad (1)$$

где  $H_{\phi}$  – фиктивный статический напор, м;  $S_{\phi}$  – фиктивное гидравлическое сопротивление насоса,  $\text{с}^2/\text{м}^5$ ;  $Q$  – подача насоса (объем жидкости, перекачиваемой насосом в единицу времени),  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $\omega$  и  $\omega_N$  – текущая и номинальная скорости вращения вала насоса соответственно. Из рисунка 2.2 следует, что выходная функция  $L_{E3} = f(Q_6, Q_{17}, Q_{18}, Q_1, Q_2, \omega_{\text{вых}1}, \omega_{\text{вых}2})$  является функцией семи аргументов, а функции  $P_{\text{вых}1} = f_1(\omega_{\text{вых}1}, \omega_{\text{вых}2})$ ,  $P_{\text{вых}2} = f_2(\omega_{\text{вых}1}, \omega_{\text{вых}2})$ ,  $Q_{\text{вых}1} = f_3(\omega_{\text{вых}1}, \omega_{\text{вых}2})$  и  $Q_{\text{вых}2} = f_4(\omega_{\text{вых}1}, \omega_{\text{вых}2})$  – двух аргументов. Поэтому рассматриваемую дожимную насосную станцию можно характеризовать как многосвязный нелинейный объект управления с размерностью, равной трем. Отсюда следует, что регулируемые параметрами дожимной насосной станции являются: уровень в резервуаре  $L_{E3}$ , давление ( $P_{\text{вых}1}$ ,  $P_{\text{вых}2}$ ) и расход ( $Q_{\text{вых}1}$ ,  $Q_{\text{вых}2}$ ) на выходных трубопроводах. Уровень в резервуаре ДНС должен поддерживаться на отметке 2,5 метра (высота резервуара – 5 м, длина – 10,2 м и объем 200  $\text{м}^3$ ).

## 3. Логическая схема алгоритма контроля технологического процесса насосной станции

Для повышения качества управления насосной станцией необходимым условием является быстрый отклик скорости электродвигателя и перемещения управляемых клапанов на внешние воздействия и обеспечение заданного значения контролируемых параметров (расход, напор и уровень).

Непрерывное изменение подачи нефти на данную насосную станцию приводит к колебаниям расхода и давления нефти в трубопроводе, что снижает качество управления технологическими процессами. В следствие чего ПИД-регуляторы нуждаются в периодической и трудоемкой настройке, а следовательно повышаются эксплуатационные затраты на систему управления. Для повышения энергоэффективности и качества процесса управления предлагается использовать многомерный нечеткий логический регулятор, входные и выходные переменные которого представлены совокупностью термов с прямоугольной формой функции принадлежности, т. е. четких термов [6-7].

Электродвигатели и клапан К-33 управляются сигналами микропроцессорного контроллера (МПК), который получает информацию с датчиков: угловых скоростей электродвигателей, положения рабочего органа клапана К-33 (закрытие клапана в %), давления и уровня жидкости в резервуаре LE3. Уровень в резервуаре НС должен поддерживаться на отметке 2,5 метра (высота резервуара – 5м., длина – 10,2 м., и объем 200 м3). Логическая схема алгоритма управления технологическим процессом представлена на рисунке 2. Из неё следует, что регуляторы  $w_1$ ,  $w_2$  и К-33 включаются в работу при истинности операторов условного перехода ( $L_{E3} > 2,5$  м) и ( $L_{E3} \gg 2,5$  м).

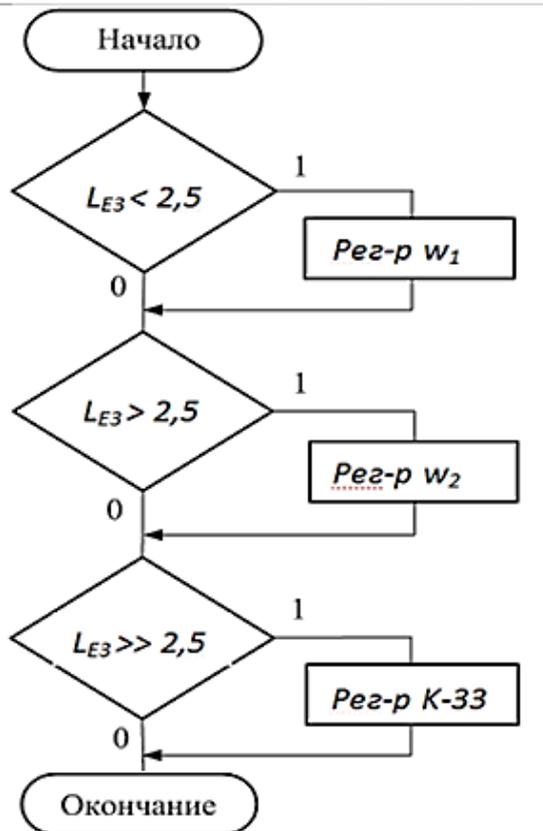


Рис. 2. Логическая схема алгоритма контроля технологического процесса насосной станции

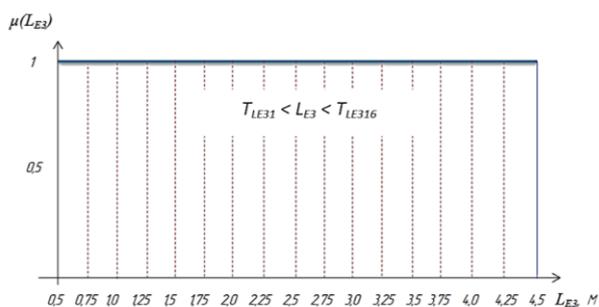


Рис. 3. Размещение четких термов уровня нефтяной эмульсии в резервуаре на универсальной числовой оси

На рисунке 3 представлена интерпретация регулируемого параметра  $L_{E3}$  совокупностью из 16 четких термов  $L_{E31}, L_{E32}, \dots, L_{E315}, L_{E316}$  (например,  $T_{LE31} < L_{E3} < T_{LE316}$  и т. д.). Интерпретация остальных регулируемых параметров  $Q_{вых}, H_{вых}$  аналогична.

Аналитическое выражение терм-множества для переменной  $L_{E3}$  имеет следующий вид:

$$T(L_{E3}) = \sum_{i=1}^{16} L_{E3} \cdot ((i-1) \cdot 0,25 \leq L_{E3} < i \cdot 0,25), \quad (2)$$

где  $i$  – номер четкого терма.

#### 4. Интерпретация компенсационной функции совокупностью четких термов

На рисунке 4 представлена компенсационная функция  $T_{LE3к}$ , аналитическое выражение универсальных терм-множеств которого соответствует:

$$T = \sum_{i=1}^{16} T_{LE3ki} \cdot ((i-1) \cdot 6 \leq t_{TLE3к} < i \cdot 6). \quad (3)$$

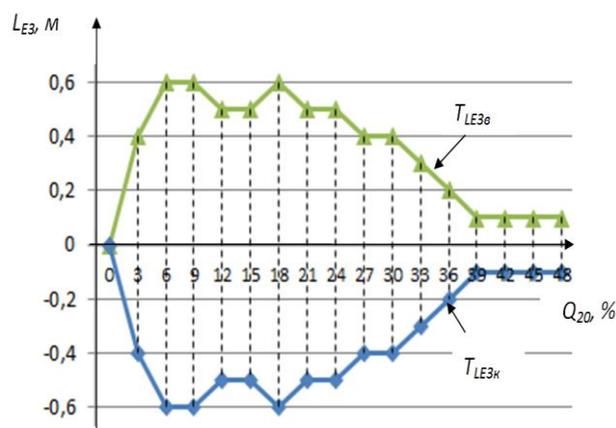
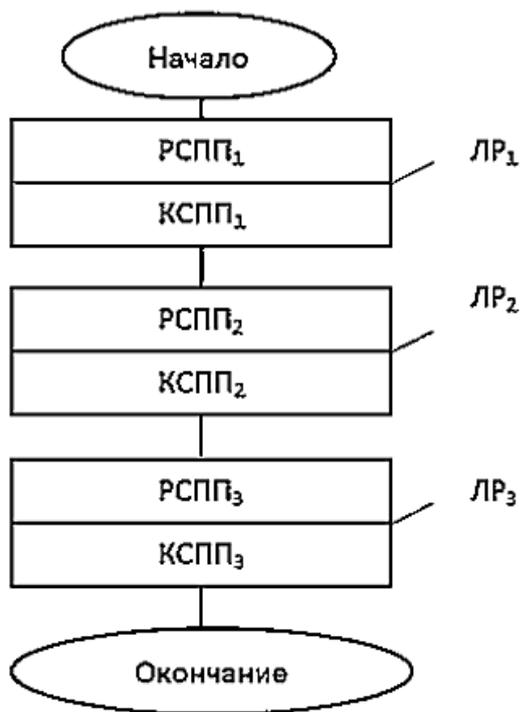


Рис. 4. Интерпретация компенсационной функции  $T_{LE3к}$  совокупностью четких термов  $T_{LE3k1} \div T_{LE3k16}$

Введение компенсационных функций изменило структуру программы, реализующей МЧЛР насосной станции. Как следует из рисунка 5, в такой программе для каждого контура регулирования наряду с регулирующими ( $РСПП_{Q20}, РСПП_{Q21}, РСПП_{Q33}$ ) присутствуют компенсирующие ( $КСПП_{Q20}, КСПП_{Q21}, КСПП_{Q33}$ ) системы производных правил. Тем самым сводится к минимуму взаимное влияние контуров многомерного четкого логического регулятора и происходит повышение показателей качества регулирования уровня жидкости в резервуаре [8-9].



**Рис. 5. Логическая структура программно-реализованного 3-мерного четкого логического регулятора насосной станции**

Замена регулирующих ( $\omega_1, \omega_2, Q_{33}$ ) и регулируемых ( $Q_{20}, Q_{21}, L_{E3}, Q_{33}, H_{вых}$ ) параметров насосной станции совокупностью четких термов позволяет построить систему продукционных правил для трехконтурного четкого регулятора. Для контура с регулируемым параметром  $L_{E3}$  такая система имеет следующую структуру:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Если } L_{E3} = L_{E312} \vee L_{E313} \vee \dots \vee L_{E315} \vee L_{E316}, \text{ то } Q_{20} = 0; \\ \text{Если } L_{E3} = L_{E311}, \text{ то } Q_{20} = T_{Q201} \vee T_{Q20k1}; \\ \dots \\ \dots \\ \dots \\ \text{Если } L_{E3} = L_{E32}, \text{ то } Q_{20} = T_{Q2015} \vee T_{Q20k15}; \\ \text{Если } L_{E3} = L_{E31}, \text{ то } Q_{20} = T_{Q2016} \vee T_{Q20k16}. \end{array} \right. \quad (4)$$

Следовательно, согласно данному выражению значение параметра  $L_{E3}$  поддерживается на уровне 2,5 м. с погрешностью  $\pm 0,25$  м., а для компенсации влияния других контуров регулирования на параметр  $L_{E3}$  в консеквентны продукционных правил введены четкие термы  $L_{E3k1} \div L_{E3k16}$ . Системы продукционных правил, относящиеся к регулируемым параметрам  $L_{E3}, Q_{вых}, H_{вых}$ , строятся по аналогичной структуре.

## 5. Заключение

Таким образом, предложена система управления электроприводом насосной станции на основе трехмерного нечеткого логического регулятора, входные и выходные переменные которого представлены совокупностью термов с прямоугольной формой функции принадлежности. Данная система позволяет стабилизировать уровень нефти на отметке 2,5 м. с абсолютной погрешностью  $\pm 0,2$  м., а также повысить показатели качества подготовки нефтяной эмульсии на установке подготовки нефти.

## Список используемых источников

1. Силаш А.П. Добыча и транспорт нефти и газа. Часть 2. Пер. с англ. – М., Недра, 1980, 264 с.
2. Каяшев А.И., Емекеев А.А., Сагдатуллин А.М. Аналитическое исследование системы автоматизации электропривода насосной станции // НЕФТЯНОЕ ХОЗЯЙСТВО. 2014. № 1. С. 94-97.
3. Каяшева Г. А., Муравьева Е. А., Байманов И. Ф. Дискретно-логическая система регулирования величины рН электролита в производстве хлора методом электролиза // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. 2008. № 1. С. 10–13.
4. Сагдатуллин А.М., Емекеев А.А. Схема комплексной автоматизации электропривода насосной станции // Патент России № 136504, заявка № 2013131974/07 (047770). Дата приоритета: 09.07.2013.
5. Сагдатуллин А.М. Программа изучения системы управления высоковольтным асинхронным электроприводом // Свидетельство № 2014611769. Зарег. 10 февраля 2014 г. М.: Роспатент, 2014.
6. Сагдатуллин А.М. Система управления высоковольтным асинхронным электроприводом // Свидетельство № 2014612227. Зарег. 21 февраля 2014 г. М.: Роспатент, 2014.
7. Сагдатуллин А.М., Каяшев А.И., Емекеев А.А. Патент РФ № 140350, заявка № 2013151910/07(080943). Устройство плавного пуска и регулирования режимов работы группы высоковольтных асинхронных электродвигателей. Опубликовано: 10.05.2014 Бюл. № 13.
8. Управление технологическими процессами, реализованное на четких логических регуляторах / М. Б. Гузаиров, Е. А. Муравьева. М.: Машиностроение, 2012. 305 с.
9. Патент «Четкий логический регулятор для управления технологическими процессами» / А. И. Каяшев, Е. А. Муравьева, Р. Ф. Габитов // №2445669 от 20.03.2012.