

Применение нейронных сетей в электроприводных системах насосных агрегатов

А. М. Белов

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
sana199706@mail.ru

М. П. Белов

Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)
mpbelov@etu.ru

Аннотация. Цель работы - разработка математической модели системы управления насосным агрегатом с нейрорегулятором. В процессе работы проводились исследования отдельных контуров системы управления насосного агрегата. В результате исследования были получены: компьютерная модель системы управления насосным агрегатом; структура нейронного регулятора. Эффективность модели заключается в возможности проведения исследования различных режимов работы насосных агрегатов при различных вариантах подключения.

Ключевые слова: насосный агрегат, электродвигатель, нейронная сеть, электроприводная систем

I. ВВЕДЕНИЕ

Группа параллельно работающих насосных агрегатов, входящих в состав станций, потребляют более чем 25 % электроэнергии, большая часть которой используется на подъем и перекачивание жидкости в системе водоснабжения и водоотведения. На эффективность насосных установок, работающих параллельно, влияет их режим работы, который зависит от времени суток. В таких насосных станциях применяются центробежные насосы.

Энергоэффективность насосных станций зависит от двух составляющих: 1) использование энергоэффективного насосного оборудования; 2) используемой системой управления насосным оборудованием. Для управления насосным агрегатом необходимо знать требуемый напор воды. Управляющим воздействием будет изменение мощности двигателя, а выходным – напор и энергоэффективность.

Увеличение энергоэффективности можно достичь, если использовать частотно – регулируемый электропривод, который позволит сэкономить электроэнергию до (30–40) % с применением интеллектуальных регуляторов в системе управления на базе нечеткой логики или нейронных сетей. Традиционные системы управления электроприводом насосных установок трудоемки в использовании и не позволяют точно оценить ошибку в системе, вызванную такими параметрами как гидравлический удар, турбулентность и т. д. В системах с неопределенными параметрами наиболее эффективны системы управления с нечеткой логикой и нейронными сетями. Для обеспечения энергоэффективности насосных агрегатов насосных станций необходимо внедрять современные энергосберегающие технологии с применением современных способов управления электроприводами с применением в системах управления нейрорегуляторов,

позволяющих повысить энергоэффективность режимов работы насосных станций.

Для организации оптимальной работы СУ электроприводными системами насосных агрегатов не достаточно использовать только современные средства автоматизации, такие как частотно-регулируемые электроприводные системы, преобразователи частоты, в состав которых входят встроенные контроллеры, выполняющие функции обработки информации, поступающей от датчиков и выработке соответствующих управляющих напряжений на электродвигатель, необходимо так же, чтобы в контур управления в ходил нерорегулятор, который бы мог парировать различные возмущающие воздействия, воздействующие на СУ электроприводными системами насосных агрегатов. Необходимо так же помнить о том, что геометрия трубопроводов так же влияет на динамические характеристики работающих насосов. Поэтому классические регуляторы не в полной мере могут компенсировать эти возмущающие воздействия, и учесть многие другие факторы трубопроводов по которым потребителю подается вода: геометрия, трение воды о поверхность трубы, динамические удары, химический состав воды (она может быть не только питьевой, но и технической и т. д. Поэтому применение интеллектуальных регуляторов на основе НС, позволит повысить энергоэффективность режимов работы насосных агрегатов и станций в широком диапазоне изменения суточного графика подачи воды потребителю.

II. ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Несколько насосных агрегатов, входящих в состав технологических комплексов, включаются параллельно, последовательно или комбинированно между собой. Тип соединения насосных агрегатов зависит от ряда параметров, таких как: гидравлическая схема, технические условия и требования, при этом система управления электроприводами насосов представляет собой групповую взаимосвязанную. Для обеспечения энергоэффективности такой системы управления необходимо учесть: 1) определить критерий оптимизации для оценки энергоэффективности; 2) при неопределенных параметрах расхода жидкости в трубопроводе необходимо обеспечивать поддержание заданных статических и динамических значений давлений; 3) обеспечение надежной работы гидравлического оборудования при кавитации и гидроударах; 4) автоматическая настройка параметров системы управления электроприводом насосных агрегатов для поддержания энергоэффективности.

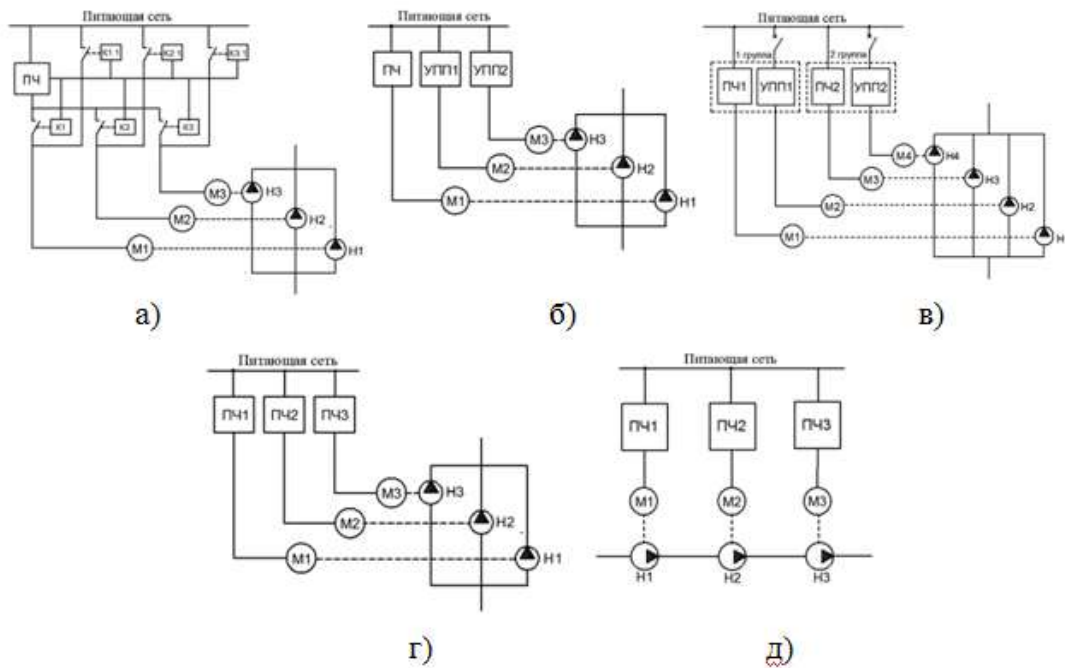


Рис. 1. Варианты параллельно-соединенных нескольких насосных агрегатов

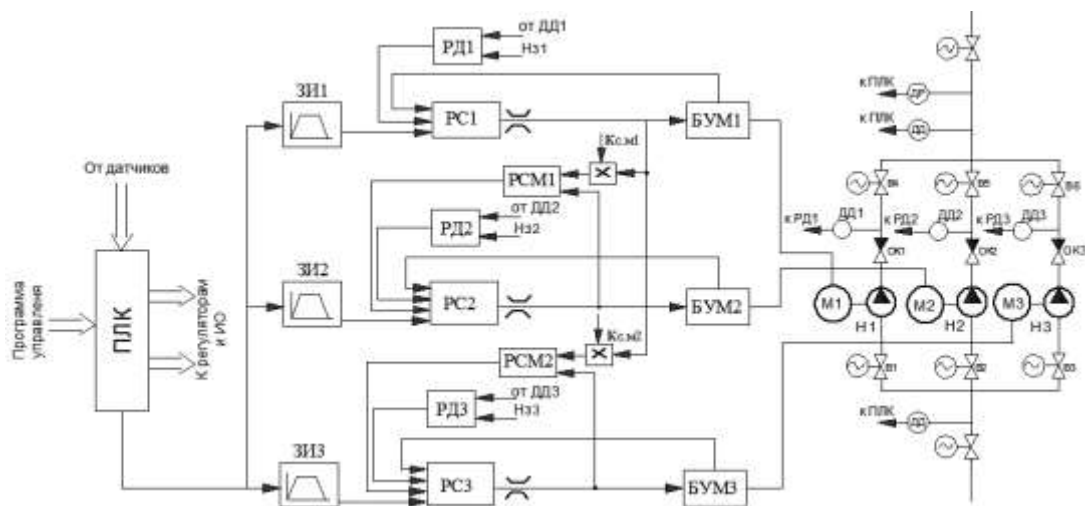


Рис. 2. Функциональная схема, обеспечивающая эффективное управление насосами

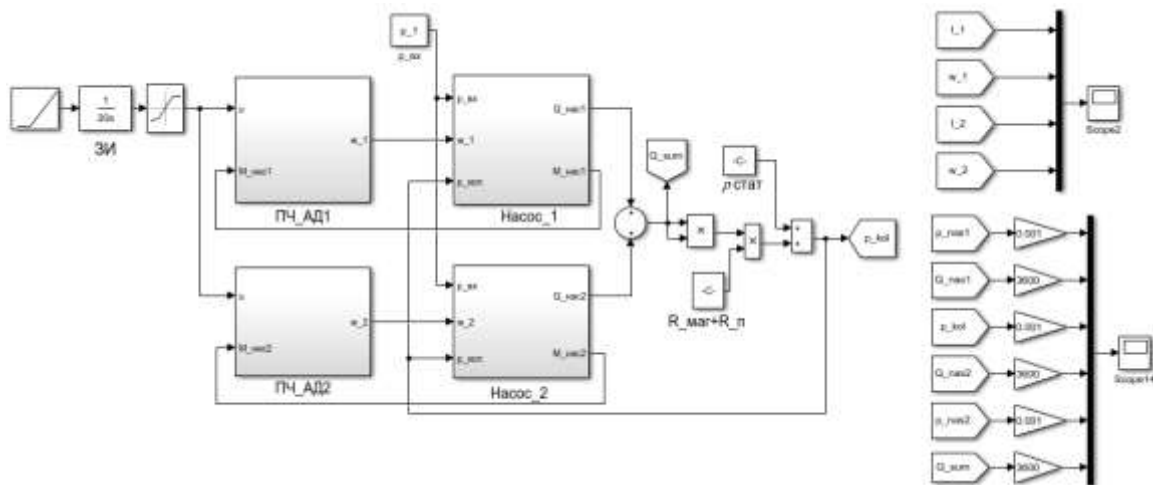


Рис. 3. Модель параллельной работы двух насосных агрегатов в Matlab

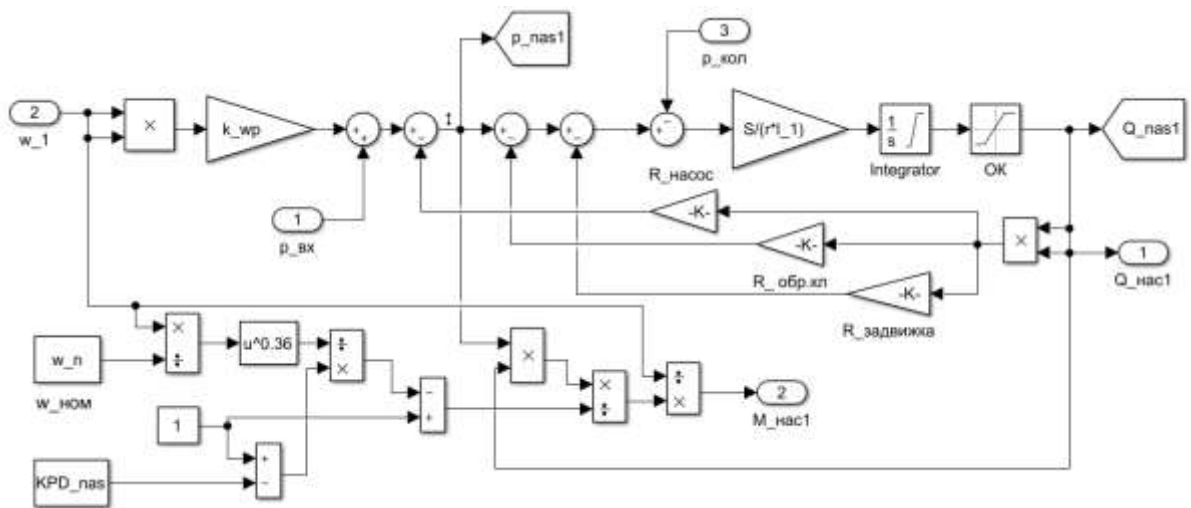


Рис. 4. Компьютерная модель насосного агрегата в Matlab

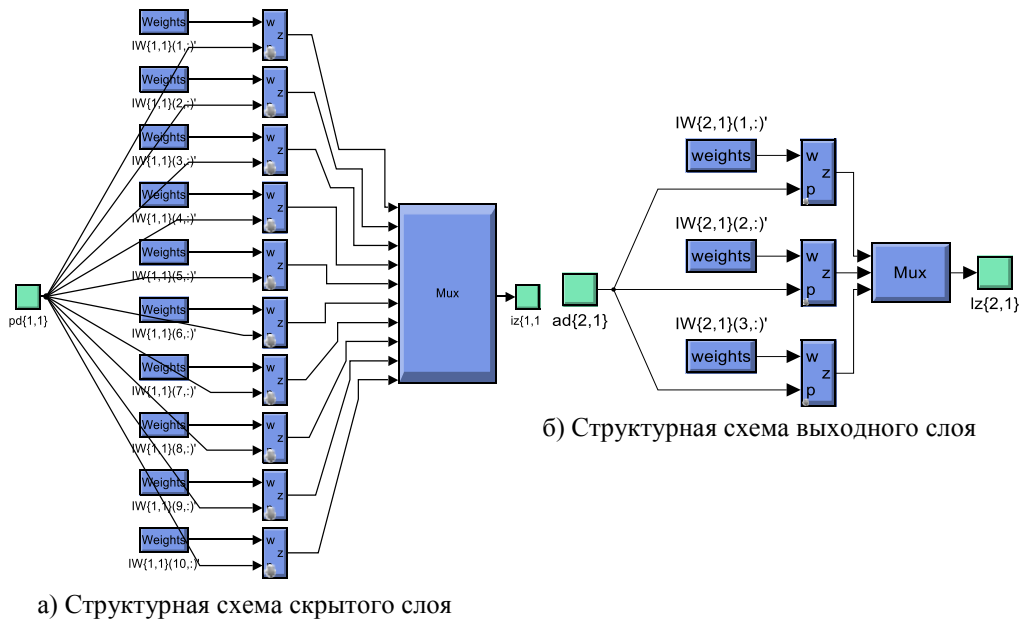


Рис. 5. Структурные схемы слоев нейрорегулятора

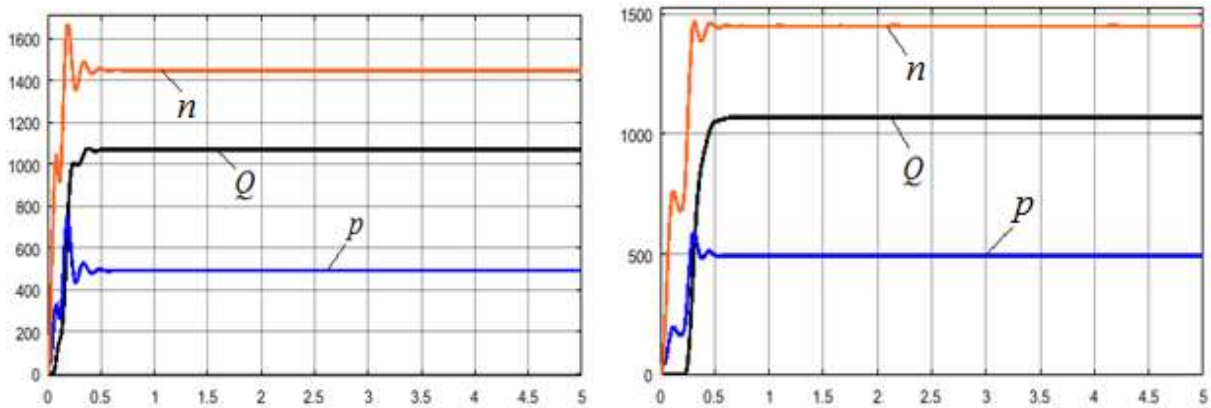


Рис. 6. Переходные процессы регулирования в СУ подачи, давления и скорости вращения

На современном этапе на насосных станциях уменьшают число насосных агрегатов, увеличивая мощность оставшихся, используя автоматическую настройку параметров регуляторов в системе

управления. На таких насосных станциях обязательно предусматривается резервный насосный агрегат и питание от источника электроэнергии для него.

Рассмотрим насосную станцию с несколькими насосными агрегатами, соединенными параллельно [1] (рис. 1), где: а) представлена схема соединения нескольких насосных агрегатов, управляемых одним преобразователем частоты, через коммутационные устройства непосредственно на питающую сеть; б) представлена схема соединения нескольких насосных агрегатов, управляемых одним преобразователем частоты, через коммутационные устройства непосредственно на питающую сеть, электропривод насосов запускается через устройство плавного пуска; в) представлена схема соединения нескольких насосных агрегатов, каждые (2–3) из которых управляются своим преобразователем частоты, через коммутационные устройства непосредственно на питающую сеть; г) представлена схема соединения нескольких насосных агрегатов, каждые (2–3) из которых управляются своим преобразователем частоты, через коммутационные устройства непосредственно на питающую сеть или устройства плавного пуска; д) представлена последовательная схема соединения насосных агрегатов, каждый из которых подсоединен на свой преобразователь частоты, подключенный непосредственно на питающую сеть. Применяется при необходимости обеспечения высокого уровня давления в трубопроводе при резко изменяющейся нагрузке в сети. При таком соединении наиболее вероятно появление кавитации и гидроудары, что может привести к выходу из строя насосного оборудования.

Наиболее эффективным соединением насосных агрегатов является вариант 4, который обеспечивает наиболее высокие показатели энергоэффективности.

Параллельные насосы обычно идентичны, чтобы обеспечить сбалансированное распределение нагрузки, когда все насосы работают одновременно. Использование насосов разного размера может привести к тому, что в системе будет доминировать самый большой насос, что вынудит другие насосы работать ниже своего минимального номинального расхода. Если насосы разных размеров должны быть настроены параллельно, их кривые производительности должны быть тщательно проверены, чтобы гарантировать, что ни один из насосов не работает ниже минимального требуемого расхода.

Кроме того, включение и отключение насосов поддерживает рабочую точку каждого из них ближе к его оптимальной точке КПД, однако необходимо контролировать работу при работе с параллельными насосами, чтобы обеспечить соблюдение требований к минимальному потоку для каждого насоса.

Таким образом, качественное регулирование насосных агрегатов возможно осуществить за счет индивидуального частотного регулирования насосов, одна из эффективных схем приведена на рис. 2.

Из проведенного анализа видно, что регулируемые насосные агрегаты позволяют с высокой эффективностью и надежностью решать различные задачи. Проведенный анализ энергоэффективности проводился так же с учетом внешних и внутренних возмущающих воздействий.

Для оценки энергоэффективности СУ электроприводными системами насосных агрегатов использовалось следующее ее математическое описание

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{x}}_H = \mathbf{A}_H \mathbf{x}_H + \mathbf{B}_H \mathbf{u} + \mathbf{w}(t) \\ \mathbf{y}_H = \mathbf{C}_H \mathbf{x}_H + \mathbf{v}(t) \end{cases}, \mathbf{x}(0) = 0,$$

где $\dot{\mathbf{x}}_H = \begin{bmatrix} \dot{\mathbf{x}} \\ \dot{\mathbf{d}} \end{bmatrix}$; $\mathbf{A}_H = \begin{bmatrix} \mathbf{A} & \mathbf{B}_d \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$; $\mathbf{B}_H = \begin{bmatrix} \mathbf{B}_u \\ 0 \end{bmatrix}$;
 $\mathbf{C}_H = \begin{bmatrix} \mathbf{C} & 0 \end{bmatrix}$; $\mathbf{y}_H = \mathbf{y}$, $\mathbf{w}(t)$ – соответствующие шумы.

В работе для исследования различных вариантов структур, настройки нейрорегуляторов были использованы различные разработанные модели, а так же Matlab с его Toolbox Neural Network.

При проведении исследований будет использован нейрорегулятор Predictive Controller. В данном регуляторе применяется нелинейная модель СУ электроприводной системы насосного агрегата с учетом всех нелинейностей и возмущений. Для обучения нейрорегулятора применяется тестовая выборка, которая сформирована двумя путями: 1) использованы результаты, снятые на действующей насосной станции; 2) результаты получены при проведении моделирования на идеальной модели. Компьютерная модель насосного агрегата показана на рис. 3, 4.

Процесс синтеза нейрорегулятора Prediction Controller и настройка его параметров подробно описана, например в [2], поэтому в докладе не приводится.

На рис. 5 представлены структурные схемы: а) скрытого слоя НС нейрорегулятора; б) выходного слоя.

В качестве модели магистрального трубопровода была использована модель, описанная в [3]. Эта математическая модель позволяет рассчитать значения изменяющегося давления в любой точке магистрального трубопровода.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования (рис. 6) показывают эффективность применения нейрорегулятора в СУ электроприводной системы насосного агрегата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Белов М.П. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / М.П. Белов и др. под ред. В.А. Новикова, Л.М. Чернигова. М.: Академия, 2006. 368 с.
- [2] Круг П.Г. Нейронные сети и нейрокомпьютеры: учеб. пособие по курсу «Микропроцессоры». М.: Изд-во МЭИ, 2002. 176 с.
- [3] Белов М.П., Рассудов Л.Н., Тигист Т.Т. Расчет переходных процессов в магистральных трубопроводах на основе инвертирования трансцендентных передаточных функций // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», Серия "Электротехника": сб. науч. тр. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2003. Вып. 1. С. 1–8.