

## ADVANCED CONTROL ДАВЛЕНИЕМ НЕФТИ В МАГИСТРАЛЬНОМ ТРУБОПРОВОДЕ

Рыбаков Е.А., Стариков Д.П., Громаков Е.И.

Научный руководитель: Громаков Е.И., к.т.н., доцент

Томский политехнический университет, 634050, Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30

E-mail: [EvgRybakov@gmail.com](mailto:EvgRybakov@gmail.com)

### Введение

Транспортирование и жидких нефтепродуктов представляет одну из важных операций нефтегазовой отрасли (НГО). Как правило, транспортирование от места добычи до нефтяного портала или до завода потребителя осуществляется путем наземной перекачки (при помощи магистральных насосов). Центральной проблемой такой транспортировки является поддержание давления, устанавливаемого нормативными требованиями. Исторически сложился подход, при котором регулирование давления и/или расхода в нефтепроводе осуществляется либо за счет скорости вращения насоса двигателя (НПС), либо за счет управления задвижкой.

Подобный подход имеет ряд недостатков:

- 1) В мощном насосном агрегате достаточно сложно управлять скоростью вращения из-за большой инерционности его подвижной части, а непрерывная перестройка регулирующего органа задвижки ведет к ее быстрому износу.
- 2) Возможно повышенное потребление мощности насосами в форсажных режимах изменения скорости вращения, а регулирование с помощью задвижки ведет к снижению производительности прокачки нефти. Энергия, расходуемая на дросселирование, безвозвратно теряется, что снижает общий коэффициент полезного действия насосной станции. В некоторых случаях потери могут достигать до 50%.
- 3) При низком качестве управления и в том, и других случаях возможны большие перерегулирования или колебания (в т.ч. появление волн давления).

Основными факторами, влияющие на режимы работы системы НПС-трубопровод являются:

- Переменная нагрузка нефтепровода.
- Технологические факторы – изменение параметров насосов, их включение и отключение; повышенные энергозатраты при регулировании.
- Изменение реологических параметров нефти вследствие сезонных изменений температуры окружающей среды.
- Аварийные или ремонтные ситуации.

Перечисленные факторы изменяются в процессе эксплуатации непрерывно, одни действуют систематически, другие периодически.

Типовая схема системы с регулируемой частотой (VFD) НПС- трубопровод [1] изображена на рисунке 1.

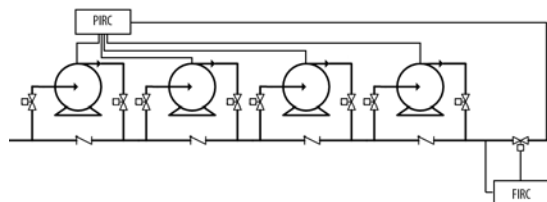


Рис 1. Типовая модель

Из рис. 1 видно, что схема предполагает наличие как минимум двух замкнутых контуров системы автоматического регулирования давления в нефтепроводе (САРД) (в том числе возможны другие вариации, например, контура дросселирования на входе). Для управления многоконтурными САР используют Advanced Control- алгоритмы [2].

Далее будут рассмотрены и исследованы следующие алгоритмы управления этого семейства:

1. Split range control
2. Параллельное управление

Главная цель – выбор алгоритма (схемы) управления согласно критерию оптимальности относительно функционала энергоемкости (т.е. выбор типа управления в зависимости от количества затрачиваемой энергии).

### Модель

Для исследований разработаны модели клапана и насоса в MatLAB Simulink. Структурная схема клапана изображена на рисунке 2.

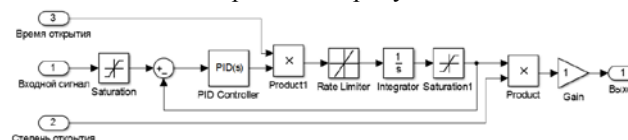


Рис. 2. Модель клапана

В свою очередь модель насоса предоставлена на рисунке 3.

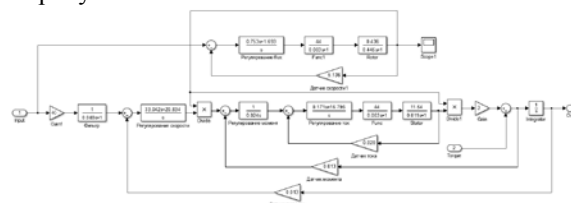


Рис. 3. Модель насоса

### Split range control.

Такой алгоритм подразумевает использование одного контроллера для регулирования величины выходной переменной за счет разных устройств (двух и более задвижек, совокупности задвижки и насоса и т.п.). Для этого применяется так

называемый «сплиттер», использующий данные ОС для управления тем или иным узлом САУ.

Применительно к схеме магистрального насоса алгоритм работы «сплиттера» и системы в целом будет следующий: для регулирования давления в магистральном нефтепроводе насос выводится на некоторый удовлетворяющий и оптимальный с точки зрения энергозатрат режим. Более точная подстройка уставки давления осуществляется за счет положения задвижки, регулируемой пневмо- или электроприводом. Вполне очевидно, что для управления задвижкой требуется меньше электрической мощности, по сравнению с насосным агрегатом.

Такой подход позволит сэкономить затраты на энергообеспечение (мощная нагрузка работает в относительно энергоэффективном режиме). А также сократить износ дорогого оборудования за счет снижения количества переключений режимов.

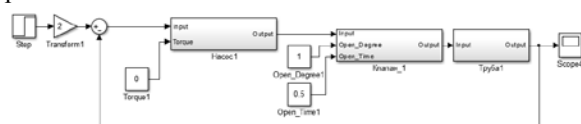


Рис. 4. Модель Split range

### Параллельное регулирование.

Способ параллельного регулирования схож с методом Split range, однако здесь используется больше чем один входной параметр для единственной контролируемой переменной. Типичное требование – быстрое регулирование выходного параметра. Управление производится быстрым (менее инерционным) исполнительным механизмом, но в то же время медленным. Структурная схема такого алгоритма представлена на рисунке 5.

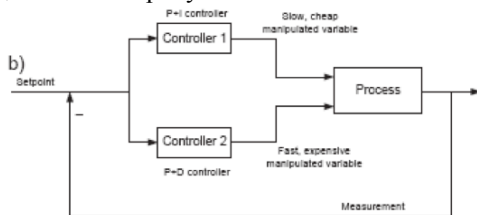


Рис. 5.

Таким образом скачок давления в трубопроводе, вызванный какой-либо причиной (будь то авария, скачок расхода и т.д.), сначала будет отрегулирован задвижкой, а потом – более инерционным органом управления (насосом).

Такой подход позволит быстро обрабатывать возникающие возмущения системы. В то же время позволит минимизировать энергозатраты на управление.

Для более наглядного сравнения описанных алгоритмов, проведены исследования указанных моделей в пакете Matlab.

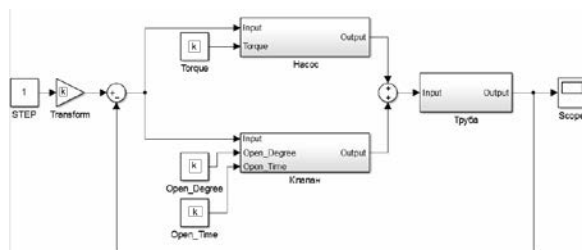


Рис. 6 Схема набора параллельного управления

### Исследования

Графики моделирования переходных процессов в описанных выше моделях представлены соответственно на рисунках 7 и 8.

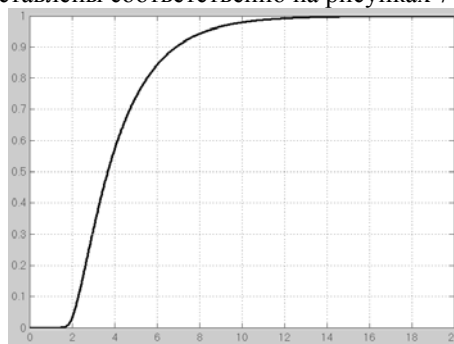


Рис. 7. Split control

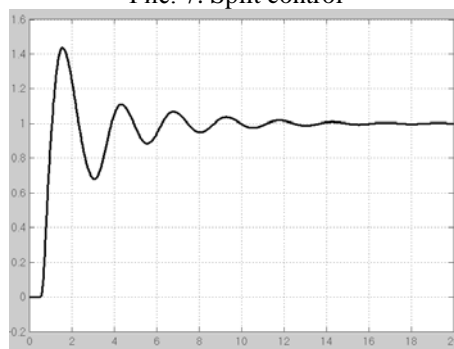


Рис. 8. Параллельное управление

### Вывод

По полученным данным моделирования можно сделать выводы о перспективности и целесообразности применения решения Split Range. Так как отсутствует перерегулирование и присутствует довольно гладкая кривая, что может свидетельствовать об оптимальном режиме работы инерционного органа управления (насоса).

### Список использованных источников

1. Thomas O. Miesner, William L. Leffler Oil & Gas Pipelines in Nontechnical Language PennWell Corp, 2006, 357 p.
2. Charles L. Phillips, John M. Parr Feedback Control Systems. 5th edition Prentice Hall PTR, 2011, 774 p