

УДК 389.001.12/18; 389.15; 389.17

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ НЕФТЕГАЗОВОДЯНОЙ СМЕСИ

Николаев А.Б., Остроух А.В., Марсов В.И., Илюхин А.В.

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ),
Москва, e-mail: ostroukh@mail.ru

В статье рассмотрены принципы работы различных систем экстремального регулирования. Проведен сравнительный анализ систем экстремального регулирования (СЭР). По результатам анализа сделаны выводы о возможностях использования СЭР для оптимизации процессов транспортирования нефтегазоводяной смеси.

Ключевые слова: системы экстремального регулирования, нефтегазоводяная смесь, системы автоматического регулирования

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF SYSTEMS OF EXTREME REGULATION OF PROCESSES OF TRANSPORTATION OIL&GAS&WATER MIXES

Ostroukh A.V., Marsov V.I., Ilyukhin A.V., Zamytkikh P.V.

The Moscow auto-road state engineering university, Moscow, e-mail: ostroukh@mail.ru

In article principles of work of various systems of extreme regulation are considered. The comparative analysis of systems of extreme regulation (SER) is carried out. By results of the analysis conclusions are drawn on possibilities of use the SER for optimization of processes of transportation Oil&Gas&Water mixes.

Keywords: systems of extreme regulation, нефтегазоводяная a mix, automatic control systems

Обеспечение оптимальной – наилучшей в некотором смысле – работы объекта регулирования процессов транспортирования нефтегазоводяной смеси (НГВС) становится в настоящее время одной из центральных задач автоматизации. Работа объекта может считаться оптимальной при максимальном коэффициенте полезного действия, минимальной себестоимости единицы продукции, минимальной затрате энергии на выработку единицы продукции и т.д.

В отличие от протяженных магистральных нефтепроводов на промысловых нефтепроводах, обладающих ограниченной протяженностью и незначительным изменением перепада давления по длине нефтепровода, может быть применена система экстремального регулирования (СЭР), обеспечивающая максимальное использование мощности насосной станции.

Обычная система автоматического регулирования (САР) не может решить задачу оптимизации [1, 2]. Это происходит потому, что в обычной САР всегда известно заданное значение регулируемого параметра и, следовательно, всегда известно, в каком направлении необходимо изменять регулирующее воздействие, чтобы ликвидировать ошибку системы: разность между заданным и текущим значением регулируемого параметра.

В отличие от обычных САР, в СЭР не известно заданное значение регулируемого параметра. Поэтому задача СЭР принципиально сложнее и заключается в автомати-

ческом поиске такого значения регулирующего воздействия, которое обеспечивает максимум (минимум) регулируемой величины. В отличие от обычных систем автоматического регулирования в СЭР анализ состояния объекта в данный момент времени не позволяет определить, в каком направлении следует изменять управляющее воздействие, чтобы получить требуемый результат.

Задача, решаемая СЭР, относится к объекту, имеющему статическую характеристику $y = f(x)$ (рис. 1).

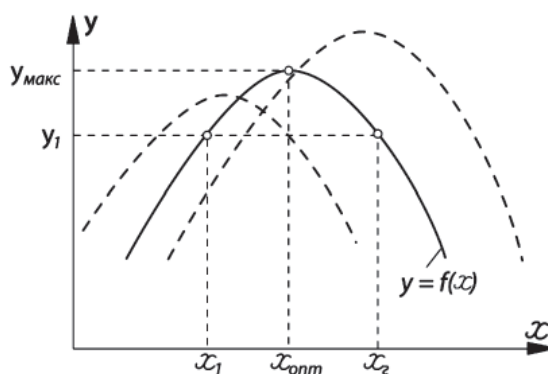


Рис. 1. Объект регулирования

Входная величина объекта x , а выходная – y , которую требуется поддерживать максимальной.

Положение и форма кривой $y = f(x)$ под влиянием возмущения изменяется (пунктирные кривые на рис. 1) и в данный мо-

мент положение экстремума не известно. Поэтому в СЭР непрерывно должен осуществляться поиск экстремального значения y .

Основной процесс в СЭР – это автоматический непрерывный поиск, заключающийся в изменении входа объекта, анализе результатов этого воздействия и определении дальнейшего направления изменения входа системы с целью достижения экстремума выхода объекта.

Задача СЭР состоит в автоматическом поиске такого значения регулируемого параметра, о котором заранее известны только признаки, отличающие это значение от остальных: либо это максимальное, либо минимальное из всех возможных значений.

Системы экстремального регулирования делятся по принципу, используемому для определения направления движения к экстремуму на систему:

1. Системы с запоминанием экстремума, реагирующие на разность между наибольшим достигнутым в предыдущие моменты времени значением выхода и текущим значением выхода y .

2. Системы, реагирующие на знак или величину, производной dy/dx или dy/dt .

3. Системы со вспомогательной модуляцией, которые определяют направление движения к экстремуму по сдвигу фазы между входными и выходными колебаниями объекта.

4. Системы шагового типа, реагирующие на знак приращений выхода y .

По характеру воздействия исполнительного механизма (ИМ) на объект СЭР могут быть непрерывного или дискретного действия. В системах непрерывного действия при работе регулятора исполнительный механизм непрерывно изменяет вход x объекта. В дискретных СЭР исполнительный механизм изменяет вход объекта через определенные промежутки времени. Существуют СЭР смешанного типа, соединяющие в себе свойства различных систем приведенной выше классификации.

СЭР с запоминанием экстремума

В экстремальных регуляторах с запоминанием экстремума на сигнум-реле подается разность между текущим значением выхода y объекта и его значением в предыдущий момент времени.

Структурная схема СЭР с запоминанием экстремума представлена на рис. 2. Выходная величина объекта O со статистической характеристикой $y = f(t)$ подается на запоминающее устройство ЗУ экстремального регулятора. Запоминающее устройство такой системы должно фиксировать y только

при его увеличении. На уменьшение y запоминающее устройство не реагирует. Сигнал с запоминающего устройства подается на элемент сравнения ЭС, где сравнивается с текущим значением сигнала y . Сигнал разности $y - y_{\text{макс}}$ с элемента сравнения поступает на сигнум-реле СР. Когда разность $y - y_{\text{макс}}$ достигает значения зоны нечувствительности y сигнум-реле, оно производит реверс исполнительного механизма ИМ, с постоянной скоростью перемещения, т.е. $dx/dt = \pm k_1$ (где $k_1 = \text{const}$). Рис. 3 поясняет работу СЭР с запоминанием экстремума. В СЭР с запоминанием экстремума запоминающее устройство не фиксирует экстремум статической характеристики объекта (его значение не известно в момент включения регулятора в работу). Запоминающее устройство фиксирует значения выходной величины y объекта, когда y увеличивается.

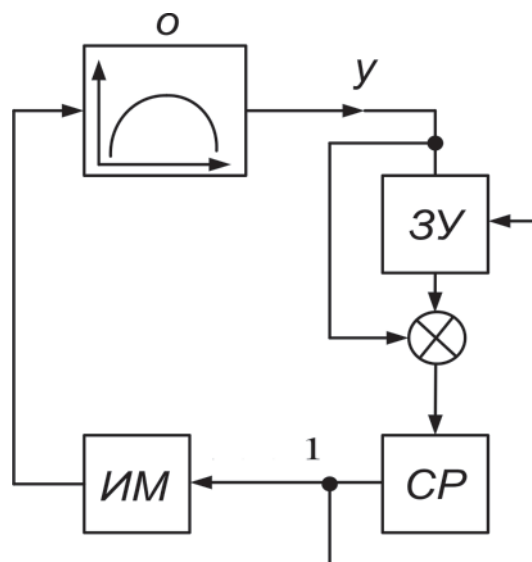


Рис. 2. Структурная схема СЭР с запоминанием экстремума

Из описания функционирования СЭР, основанных на принципе запоминания экстремума, следует, что в них не требуется вычисление производных, а регулятор действует или по отклонению от экстремума или по интегралу от этих отклонений. В силу этого такие СЭР отличаются простотой конструкции и помехоустойчивостью.

СЭР с измерением производной

Системы экстремального регулирования с измерением производной используют то свойство экстремальной статической характеристики, что производная dy/dx равна нулю при значении входа объекта $x = x_{\text{опт}}$.

Структурная схема такой СЭР приведена на рис. 4. Значения входа и выхода объекта

О подаются на два дифференциатора D_1 и D_2 , на выходе которых получаются сигналы, соответственно dx/dt и dy/dt . Сигналы производных поступают на делительное устройство ДУ. На выходе ДУ получается сигнал dy/dx , который подается на усилитель $У$ с ко-

эффициентом усиления k_2 . Сигнал с выхода усилителя поступает на исполнительный механизм ИМ с переменной скоростью перемещения, величина которой пропорциональна выходному сигналу усилителя u . Коэффициент усиления ИМ равен k_1 .

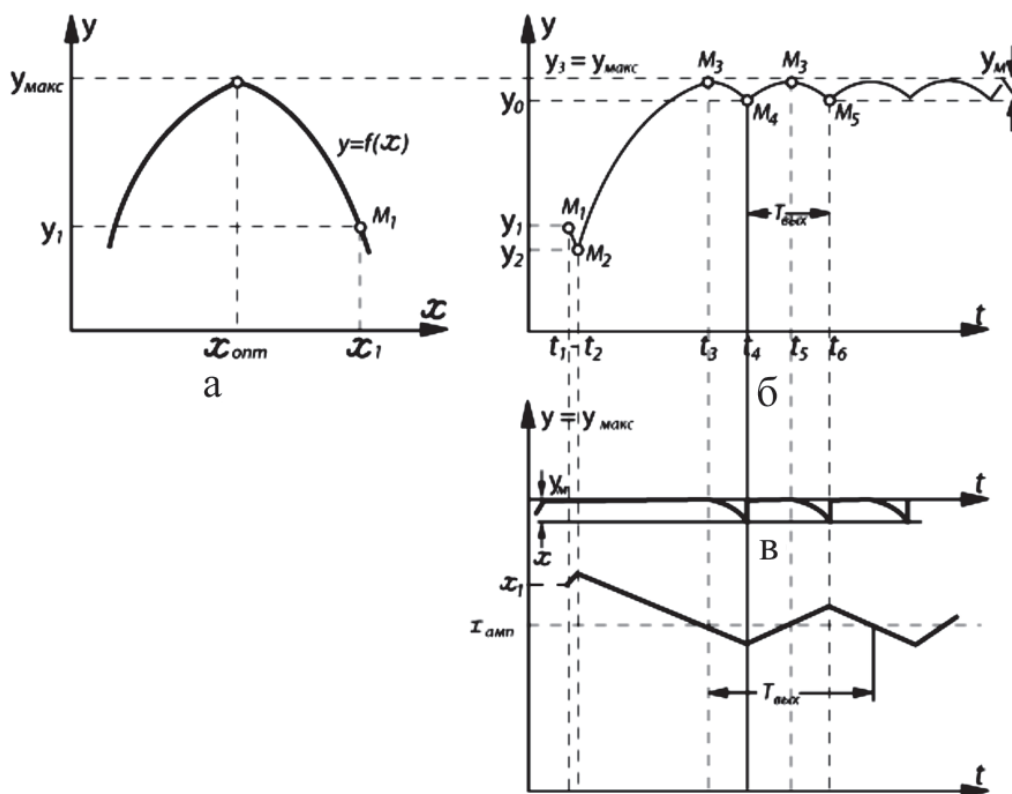


Рис. 3. Поиск экстремума экстремуму СЭР с запоминанием экстремума

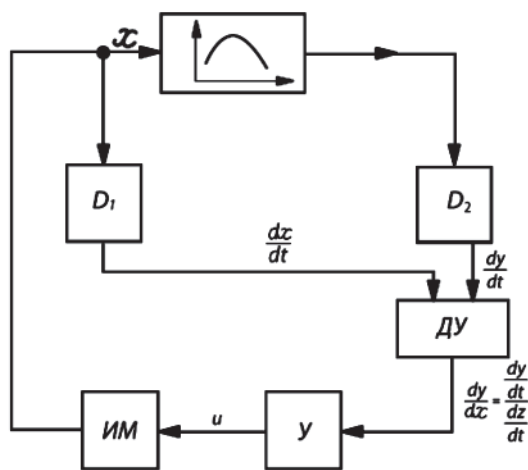


Рис. 4. Структурная схема СЭР с измерением производной

Система с измерением производной обладает рядом недостатков, которые делают ее практически малоприменимой. При $dx/dt \rightarrow 0$ производная dy/dt также стремится к нулю, задача отыскания экстремума

становится неопределенной. Все реальные объекты обладают инерцией, поэтому необходимо делить друг на друга не одновременно замеренные производные dy/dt и dx/dt , а сдвинутые по времени на величину задержки сигнала в объекте, что выполнить достаточно сложно. Отсутствие в такой СЭР логического устройства приводит к тому, что в некоторых условиях система теряет работоспособность.

СЭР со вспомогательной модуляцией

В СЭР с вспомогательной модуляцией используется свойство статической характеристики изменять фазу колебаний на выходе объекта по сравнению с фазой входных колебаний объекта, при переходе выхода объекта через экстремум. Это системы с непрерывным поисковым сигналом, т.е. непрерывные СЭР (рис. 5).

В отличие от рассмотренных выше СЭР, системы с вспомогательной модуляцией имеют отдельные поисковые и рабочие движения.

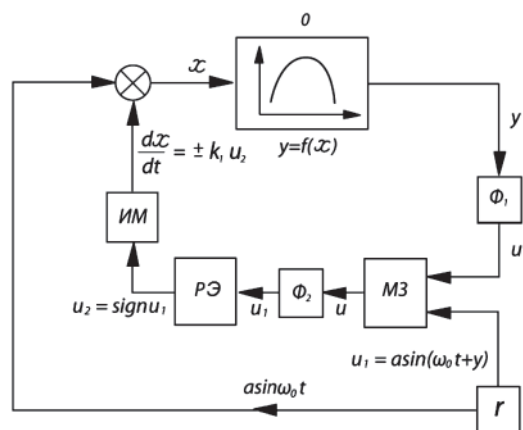


Рис. 5. СЭР со вспомогательной модуляцией (Ф₁ – фильтр; Ф₂ – низкочастотный фильтр; РЭ – релейный элемент; МЗ – множительное звено; ИМ – исполнительный механизм)

СЭР с модуляцией применяются преимущественно в радиотехнических устройствах. Для оптимизации промышленных объектов такие системы применяются редко.

Этот способ неприемлем в силу особенностей процесса транспортирования нефтегазовой среды, так как входному сигналу – изменению нагрузки трубопровода, невозможно придать ту вспомогательную модуляцию, с помощью которой определяется направление движения системы к экстремуму.

СЭР шагового типа

Структурная схема шаговой СЭР показана на рис. 6. Измерение выхода y объекта в системе происходит дискретно (за датчиком выхода объекта имеется импульсный элемент ИЭ1), т.е. через промежутки времени dt (dt – период повторения импульсного элемента). Импульсный элемент преобразует изменяющуюся выходную величину y объекта в последовательность импульсов, высота которых пропорциональна значениям y в моменты времени $t = ndt$.

Между сигнум-реле СР и исполнительным механизмом ИМ (рис. 6) включен еще один импульсный элемент ИЭ2 (работающий синхронно с ИЭ1), который осуществляет периодическое размыкание цепи питания ИМ, останавливая ИМ на это время.

Исполнительный механизм в подобных СЭР обычно осуществляет изменение входа x объекта шагами на постоянную величину dx .

Сигнум-реле изменяет направление последующего шага dx_{n+1} исполнительного механизма, если величина dy_n становится меньше нуля.

В шаговых СЭР для обеспечения устойчивости необходимо, чтобы движение системы к экстремуму было немонотонным.

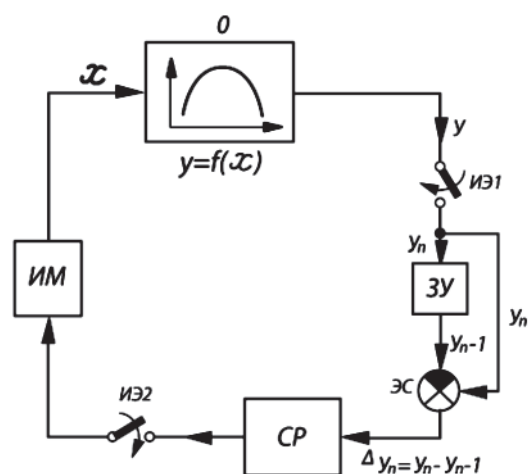


Рис. 6. Структурная схема шаговой СЭР

В некоторых случаях длительность интервала между шагами определяется в зависимости от скорости изменения выходного сигнала. Таким образом, при быстро меняющемся входном сигнале, когда система находится вдали от экстремума, частота шагов возрастает.

При подходе же системы к экстремуму частота шагов снижается, так как скорость изменения выходного сигнала падает по мере приближения к экстремуму. Такого рода системы имеют лучшие динамические характеристики, чем системы с постоянным периодом между шагами.

Стратегия поиска у шагового экстремального регулятора или автоматического оптимизатора АО заключается в следующем. Из положения, в котором находится система оптимизации, производится шаг на уменьшение или увеличение значения эффективности транспортирования нефтегазовой среды. Если в результате этого движения увеличивается критерий эффективности процесса транспортирования нефтегазовой среды, то система продолжает движение в том же направлении; если уменьшается величина критерия эффективности, то система реверсируется. При этом если шаг изменения регулирующего воздействия конечен, система всегда пройдет экстремум, и вокруг точки экстремума установятся автоколебания, частота и амплитуда которых будут зависеть от параметров объекта и начальных условий.

Наибольшее распространение получили системы автоматической оптимизации с постоянным шагом регулирования. Направление движения в этом случае будет определяться знаками приращения показателя эффективности процесса транспортирования НГВС и предыдущего приращения регулирующего воздействия.

Управление производится по следующему алгоритму:

$$\text{Sign}\Delta u_x = \text{Sign}(E_x - E_{x-1}) \text{Sign}\Delta u_{x-1} \quad \text{при } E_x - E_{x-1} > \Delta;$$

$$\text{Sign}\Delta u_x = \text{Sign}\Delta u_{x-1} \quad \text{при } E_x - E_{x-1} < \Delta,$$

$$u_x = u_{x-1} + \Delta u \text{Sign}\Delta u_x.$$

Основные результаты

Проведенный анализ показывает, что для оптимизации процесса транспортирования нефтегазовой среды наиболее приемлем способ, основанный на шаговом принципе поиска экстремума.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адаптивные системы автоматического управления / под ред. В.Б. Яковлева. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1984. – 204 с.
2. Траксел Д. Синтез систем автоматического регулирования. – М.: Машиностроение, 1989. – 759 с.