

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ КАНАЛИЗАЦИОННОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

В. П. Розен, канд. техн. наук (НТУУ «КПИ»)

Викладені результати побудови математичної моделі енергетичної характеристики каналізаційної насосної станції, які дозволяють замінити розривну характеристику неперервною. Використання адекватної енергетичної характеристики є основою створення системи оптимального управління режимом електроспоживання системою транспортування стічних вод.

Введение

Трубопроводные системы энергетики представлены достаточно широким спектром объектов, отличающихся своим назначением, масштабами, принципами построения и условиями функционирования. Можно выделить:

технологические трубопроводные и гидравлические системы промышленных предприятий и крупных технологических установок, а также промышленные нефтегазосборные системы, системы поддержания пластового давления, газлифта и др.;

коммунальные системы тепло-, водо-, газоснабжения городов и населенных пунктов, а также их канализационные системы;

региональные и межрегиональные системы магистральных нефте- и газопроводов, групповые водопроводы и др.;

большие системы типа Единых систем нефте- и газоснабжения или систем тепло- и водоснабжения крупных городов.

Государственная важность и одновременно сложность этих объектов привели к осознанию необходимости автоматизации процессов их функционирования по энергетическому критерию, что нашло свое отображение в разработке и внедрении автоматизированных систем контроля на трубопроводных системах нефте- [1], газо- [2–4], тепло- [5], водоснабжения [6–9].

Системы транспортировки сточных вод (СТСВ) являются крупными потребителями-регуляторами электрической нагрузки энергосистем. Система водоотведения (как и все промышленные объекты) подвержена влиянию окружающей среды, в частности погоды. Поэтому проблема управления режимом работы СТСВ является важной задачей, решение которой будет иметь положительный результат как для производственной системы – канализационной сети, так и для всей электроэнергетической системы в целом.

Инженерная сеть – это многосвязная трубопроводная система, основным назначением которой является транспорт и распределение жидких и газообразных продуктов. Инженерную сеть рассматривают как сложную систему взаимодействия большого количества подсистем (элементов) двух

типов: активных элементов и линий связи. Взаимосвязь подсистем, определяемую каким-либо формальным способом, называют структурой сети.

Построение математической модели энергетической характеристики канализационной насосной станции

Важнейшим элементом СТСВ являются канализационные насосные станции. Если качество функционирования системы оценивать по затратам электроэнергии на транспортировку сточных вод к станциям аэрации, то становится очевидным, что именно режимы работы насосной станции являются в этом смысле определяющими. Канализационную насосную станцию следует рассматривать не как самостоятельный объект управления [8], а лишь как точку сети, транспортировка сточной воды через которую требует определенных затрат электроэнергии. Таким образом, остаются в стороне вопросы, связанные с оптимизацией работы каждой конкретной насосной станции, и рассматривается лишь ее энергетическая характеристика, то есть зависимость активной нагрузки P от подачи Q . Эта зависимость определяется множеством факторов [10]: номенклатурой насосного оборудования, способом управления подачей насосов, состоянием напорного водоотвода и т.п.

Получение функции $P = P(Q)$ с приемлемой точностью в аналитическом виде представляется практически невозможным из-за необходимости учета множества факторов, большинство из которых носит случайный характер. Теоретически при ряде упрощающих допущений можно лишь показать, что зависимость $P = P(Q)$ есть кусочно-непрерывная разрывная функция, имеющая «скачки» при значениях аргумента Q , соответствующих включению или отключению насосных агрегатов.

Эти обстоятельства приводят к тому, что в реальных условиях энергетическая характеристика насосной станции должна определяться экспериментально. Однако, при опытным определении зависимости $P = P(Q)$ точки характеристики разных экспериментов не ложатся на одну кривую, а имеют существенный разброс. Поэтому правильнее говорить не о какой-то однозначной зависимости $P = P(Q)$, а о некотором поле на плоскости $Q-P$. Это означает, что фиксированному значению аргумента Q соответствует случайное значение P из некоторого диапазона, определяемого границами этого поля.

С целью упрощения математической модели канализационной насосной станции представим характеристику $P = P(Q)$ не как разрывную, а в виде непрерывной зависимости, согласующейся с экспериментально получаемыми результатами. При этом условием такой замены является то, что мера расхождения между экспериментальными и теоретическими данными должна быть минимальной.

Подбор коэффициентов функции $P = P(Q)$ по критерию минимума суммы квадратов отклонений экспериментальных данных от теоретических математическая статистика называет методом наименьших квадратов [11]. Положим, что в результате n измерений мощности P , потребляемой насосной станцией при различных значениях подачи Q в пределах изменения ее рабочего

диапазона $Q_{\min} < Q < Q_{\max}$ для каждой группы агрегатов получены пары чисел Q_i, P_i для всех $I = 1, 2, \dots, n$. Необходимо по этим данным подобрать коэффициенты функции $P = P(Q)$ в пределах непрерывности методом наименьших квадратов (рис. 1).

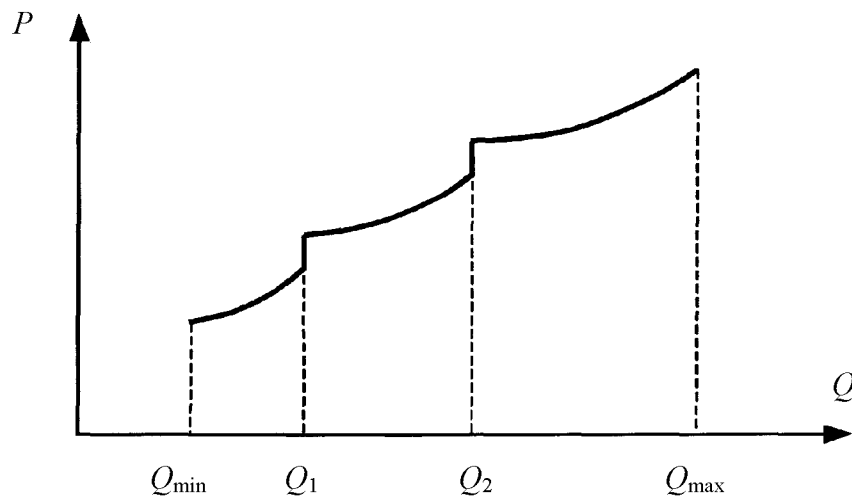


Рис. 1. Энергетическая характеристика канализационной насосной станции

При построении математической модели канализационной насосной станции характеристики ее отдельных агрегатов можно аппроксимировать полиномами различных степеней [6, 10].

Суммарные энергетические характеристики при параллельной работе нескольких насосных агрегатов определяются из соотношения

$$P_j = \sum_{i=1}^n [a_{i0} + a_{i1}(Q_i)^2]. \quad (1)$$

Таким образом, энергетическая характеристика насосного агрегата описывается выражением вида

$$P = P_0 + mQ_i^2. \quad (2)$$

Для энергетической характеристики будем осуществлять определение коэффициентов P_0 и m с использованием метода наименьших квадратов.

Сумма квадратов отклонений J экспериментальных данных от теоретических для всех значений Q_i запишется в виде

$$J = \sum_{i=1}^n [P_i - (P_0 + mQ_i^2)]^2 \rightarrow \min. \quad (3)$$

Найдем значения P_0 и m , для чего продифференцируем выражение функционала J по каждой переменной и приравняем результаты дифференцирования к нулю. Получим [12]

$$m = \frac{\overline{PQ^2} - \bar{P} \cdot \bar{Q}^2}{Q^4 - (\bar{Q}^2)^2}; \quad P_0 = \bar{P} - m\bar{Q}^2. \quad (4)$$

$$\overline{PQ^2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i Q_i^2; \quad \bar{Q}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i^2. \quad (5)$$

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i; \quad \bar{Q}^4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_i^4. \quad (6)$$

Рассмотрим процесс построения математической модели энергетической характеристики канализационной насосной станции. Для упрощения выкладок рассмотрим насосную станцию с двумя агрегатами (рис. 2).

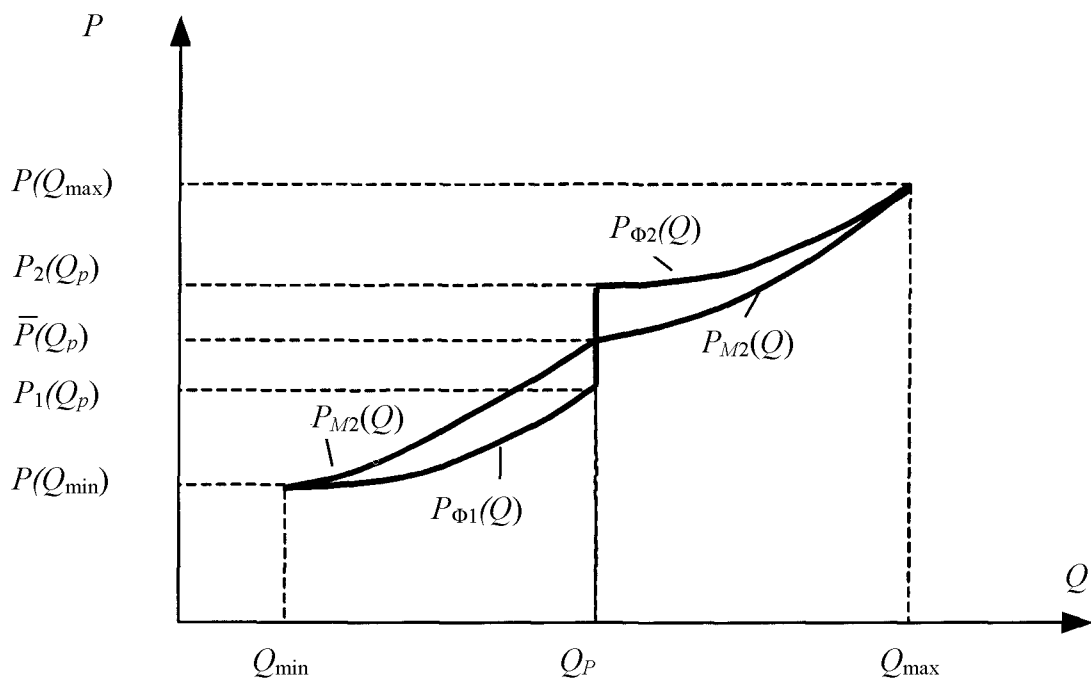


Рис. 2. Замена энергетической характеристики канализационной насосной станции непрерывной кривой

Реальную ступенчатую кусочно-непрерывную энергетическую характеристику вида 1 заменим непрерывной кривой 2, имеющей излом при значениях аргумента Q , соответствующих отключению агрегата канализационной насосной станции.

Описывая реальную энергетическую характеристику насосной станции математической моделью, будем исходить из предположения, что точка излома есть серединой интервала, соответствующего значению аргумента Q , при котором происходит отключение (или включение) насосного агрегата, то есть

$$\bar{P}(Q_P) = \frac{P_1(Q_P) + P_2(Q_P)}{2}, \quad (7)$$

и что разность площадей, лежащих под кривыми, будет минимальной:

$$\int_{Q_H}^{Q_K} S_{\text{факт}} - \int_{Q_H}^{Q_K} S_{\text{мод}} \rightarrow \min, \quad (8)$$

где Q_K , Q_H – наибольшее и наименьшее значение расхода воды, соответствующее рабочему диапазону каждой группы агрегатов.

Математическую модель канализационной насосной станции можно представить в виде

$$\int_{Q_1}^{Q_P} P_{M_1}(Q)dQ - \int_{Q_1}^{Q_P} P_{\Phi_1}(Q)dQ \rightarrow \min; \quad (9)$$

$$\int_{Q_P}^{Q_2} P_{\Phi_2}(Q)dQ - \int_{Q_P}^{Q_2} P_{M_2}(Q)dQ \rightarrow \min; \quad (10)$$

$$P_{M_1}(Q_P) = P_{M_2}(Q_P) = \bar{P}(Q_P), \quad (11)$$

где $P_{\Phi_1}(Q) = m_1 Q^2 + P_{01}$, $P_{\Phi_2}(Q) = m_2 Q^2 + P_{02}$ – соответственно реальные энергетические характеристики для каждой группы насосных агрегатов; $P_{M_1}(Q) = b_1 + a_1 Q^2$, $P_{M_2}(Q) = b_2 + a_2 Q^2$ – теоретические энергетические характеристики для каждой группы насосных агрегатов.

В конечном виде задача сводится к определению коэффициентов a и b математических энергетических характеристик для каждой группы агрегатов канализационной насосной станции.

Выводы

1. Система транспортировки сточных вод может служить потребителем-регулятором электрической нагрузки производственных систем, для чего необходимо использовать системный подход, учитывающий внешние и внутренние возмущающие воздействия, иерархичность структуры управления, сложность взаимосвязи и возможность декомпозиции системы управления.

2. Непрерывная нелинейная энергетическая характеристика канализационной насосной станции, имеющая излом в точке, соответствующей включению или отключению насосного агрегата, с достаточной степенью точности описывает реальную ступенчатую характеристику насосной станции.

1. *Автоматизация и телемеханизация магистральных нефтепроводов* / А. И. Владимирский, Ю. М. Дробновский, Л. А. Зайцев и др. – М.: Недра, 1976. – 160 с.

2. *Торчинский Я. М.* Оптимизация проектируемых и эксплуатируемых газораспределительных систем. – Л.: Недра, 1988. – 239 с.

3. *Берман Р. Я., Панкратов В. С.* Автоматизация систем управления магистральными газопроводами. – Л.: Недра. – Ленингр. отд-ние, 1978. – 159 с.

4. *Ляуконис А. Ю.* Оптимизация городского газоснабжения. – Л.: Недра, 1989. – 302 с.

5. *Автоматизация систем теплоснабжения и отопления* / С. А. Частович, В. К. Аверьянов, Ю. А. Темпель и др. – Л.: Стройиздат, 1987. – 248 с.

6. *Евдокимов А. Г., Тевяшов А. Д.* Оперативное управление потокораспределением в инженерных сетях. – Харьков: Вища школа, изд-во при Харьков. ун-те, 1980. – 144 с.

7. *Эгильский И. С.* Автоматизированные системы управления технологическими процессами подачи и распределения воды. – Л.: Стройиздат, 1988. – 216 с.

8. *Ермолин Ю. А., Скрябин Л. Ф.* Оптимизация транспортировки сточных вод. – М.: Стройиздат, 1990. – 120 с.

9. *Евдокимов А. Г., Дубровский В. В., Тевяшев А. Д.* Моделирование и оптимизация потокораспределения в инженерных сетях. – М.: Стройиздат, 1990. – 364 с.

10. *Карелин В. Я., Минаев А. В.* Насосы и насосные станции. – М.: Стройиздат. – 1987. – 340 с.

11. *Линник Ю. В.* Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической обработки наблюдений. – Л.: Физматгиз, 1962. – 349 с.

12. *Управление электропотреблением системы транспортировки сточных вод с учетом стимулирующих тарифов и окружающей среды* / В. П. Розен, Л. В. Давыденко; НТУУ «КПИ». – Киев, 1996. – 14 с. – Библиогр.: 8 назв. – Деп. в ГНТБ Украины 15.02.96, № 563-96 УК.