

УДК 681.5.015:628.21

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТЕПЕНИ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ МОДЕЛИ

Дядюн С. В.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ УПРАВЛІННЯ СИСТЕМАМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД СТУПЕНЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ МОДЕЛІ

Дядюн С. В.

EFFICIENCY ESTIMATION OF WATER SUPPLY SYSTEMS CONTROL DEPENDING ON THE VOLUME AND CONTENT OF THE CONTROLLED OBJECT OPERATIONAL INFORMATION

Dyadun S.

В статье вводятся критерии, характеризующие степень близости получаемых решений при использовании различных видов модели объекта управления. Представлен алгоритм оценивания качества и эффективности управления системами водоснабжения в зависимости от объема и состава оперативной информации об управляемом объекте. Показано, что для обеспечения оптимальных значений этих критериев достаточно располагать измерениями давлений во всех локальных диктующих точках сети.

Ключевые слова: управление, критерий, качество, эффективность, модель, функционирование, система водоснабжения, насосная станция.

В статті введені критерії, які характеризують ступінь близьості отриманих рішень при використанні різних видів моделі об'єкту управління. Приводиться алгоритм оцінювання якості та ефективності управління системами водопостачання в залежності від об'єму та складу оперативної інформації про об'єкт управління. Показано, що для забезпечення оптимальних значень цих критеріїв достатньо мати виміри тиску у всіх локальних диктуючих точках мережі.

Ключові слова: управління, критерій, якість, ефективність, модель, функціонування, система водопостачання, насосна станція.

1. Введение

Эффективность реализуемого управления зависит от степени адекватности используемых моделей объекта. Для получения оценок эффективности управления системами подачи и распределения воды (СПРВ) на интервале времени $[0, T]$ в зависимости от степени неопределенности модели объекта, т.е.

от объема и состава оперативной информации о его состояниях, будем использовать имитационную модель функционирования реальной СПРВ.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Математическому моделированию СПРВ посвящено много работ [1-4], теоретические основы оптимизации и оперативного управления потокораспределением в инженерных сетях заложены в [5-7]. Под качеством функционирования СПРВ понимается [6] вероятность выполнения ею своего назначения – подавать потребителям воду в необходимом количестве под заданным давлением в соответствии с предъявляемыми требованиями на интервале $[0, T]$. Под эффективностью функционирования СПРВ понимаются [6] затраты ресурса (воды, электроэнергии) на обеспечение заданного качества ее функционирования на интервале $[0, T]$. Целью данных исследований являлись разработка алгоритма решения задачи оценивания эффективности управления СПРВ в зависимости от объема и состава оперативной информации об управляемом объекте и проведение соответствующего анализа.

3. Результаты исследований

Обозначим L – множество насосных станций (НС) СПРВ, M – множество магистральных участков СПРВ, N – множество узлов сети с потребителями; $E=L \cup M \cup N$; $h_i, q_i, i \in E$ – потеря давления и расход в i -м участке СПРВ, $H_{\text{вх}i}, Q_{\text{вх}i}, H_{\text{вых}i}, q_{\text{вых}i}, i \in L$ – давление и расход на входе и выходе i -й НС. Введем критерии, характеризующие степень близости получаемых решений при использовании различных видов модели СПРВ. Будем оценивать эффективность решения задачи управления режимами работы СПРВ на основе агрегированной модели относительно решения этой задачи по полной модели СПРВ, принимаемого за эталон. На множестве L всех входов СПРВ введем меру, характеризующую степень близости значений переменных, определяющих их состояния при решении на основе агрегированной и полной моделей СПРВ [8, 9]:

$$P(\bar{U}, \bar{U}^*) = \frac{1}{I} \sum_{i \in L} \left\{ \left(\frac{H_{\text{вых}i} - H_{\text{вых}i}^*}{H_{\text{вых}i}^*} \right)^2 + \left(\frac{q_{\text{вых}i} - q_{\text{вых}i}^*}{q_{\text{вых}i}^*} \right)^2 \right\}. \quad (1)$$

Поскольку переменные $H_{\text{вых}i}, q_{\text{вых}i}$ измеряются в различных единицах, использование меры (1) позволяет привести несоизмеримые масштабы к единому, безразмерному. Кроме того, введем меру, характеризующую максимальное отклонение переменных $q_{\text{вых}i}, H_{\text{вых}i}, i \in L$, определяющих состояния входов СПРВ, от их оптимальных значений $q_{\text{вых}i}^*, H_{\text{вых}i}^*$

$$P_0(\bar{H}_{\text{вых}i}, \bar{H}_{\text{вых}i}^*) = \max_{i \in L} \left(\frac{H_{\text{вых}i} - H_{\text{вых}i}^*}{H_{\text{вых}i}^*} \right)^2, \quad i \in L. \quad (2)$$

$$P_0(\bar{q}_{\text{вых}i}, \bar{q}_{\text{вых}i}^*) = \max_{i \in L} \left(\frac{q_{\text{вых}i} - q_{\text{вых}i}^*}{q_{\text{вых}i}^*} \right)^2, \quad i \in L. \quad (3)$$

Будем считать, что среди множества переменных $h_i, i \in N$, характеризующих состояние выходов полной модели СПРВ, известны значения не всех, а лишь некоторой их части $h_i, i \in N_0 \subseteq N$, значения же остальных переменных $h_i, i \in N \setminus N_0$ являются зашумленными. В работе [5]

показано, что если условия наблюдаемости СПРВ не выполняются, искусственное дополнение состава наблюдаемых переменных $h_i, i \in N \setminus N_0$ в предположении о равномерном законе их распределения позволяет получить приемлемые для практики результаты. Поэтому изменяя последовательно число и состав задаваемых переменных $h_i, i \in N_0$ на выходах сети (значения $H_{\text{вых}i}, q_{\text{вых}i}, i \in L$ в реальных условиях функционирования СПРВ известны всегда), и предполагая, что остальные переменные $h_i, i \in N \setminus N_0$ распределены по равномерному закону, можно посредством решения задачи идентификации состояния СПРВ [5] получить оценки значений измеряемых и всех остальных функционально связанных с ними переменных, характеризующих потокораспределение в сети.

Алгоритм оценивания эффективности управления СПРВ в зависимости от степени неопределенности модели объекта управления состоит в следующем:

1. Получение оптимальных оценок, в дальнейшем используемых как эталон, при выполнении условий наблюдаемости СПРВ.

1.1. Считается заданной определенная предыстория реализаций наблюдаемых переменных в моменты времени $k=0,-1,-2\dots$, предшествующие интервалу управления $[0, T]$, т.е. информационное состояние вида:

$$P^0 = \{H_{\text{вх}i}(k), H_{\text{вых}i}(k), q_{\text{вых}i}(k), h_j(k) | i \in L, j \in N\}. \quad (4)$$

Для каждого $k=0,-1,-2\dots$ решается задача идентификации состояния водопроводной сети, в результате чего становятся известными оценки значений узловых расходов $\tilde{q}_j^{(H)}(k), j \in N$ в каждый из этих моментов времени.

1.2. На основании этих оценок $\tilde{q}_j^{(H)}(k)$ в моменты времени $k=0,-1,-2\dots$ для каждого узла $j \in N$ сети осуществляется прогноз расхода $\hat{q}_j^{(H)}(k), j \in N$ на интервал управления $[0, T]$. Кроме того, на основании предыстории значений $H_{\text{вх}i}(k), k=0,-1,-2\dots \forall i \in L$ производится прогнозирование их значений на интервал $[0, T]$.

1.3. Для каждого момента $k=0,1,2\dots,K$ решается задача оптимального распределения нагрузки между НС. Получаем эталонные значения $H_{\text{вых}i}^*(k), q_{\text{вых}i}^*(k), i \in L$.

1.4. Определение оптимальных управляющих воздействий на агрегатах каждой НС $\forall k=1,2\dots,K$ при заданных значениях $H_{\text{вых}i}^*(k), q_{\text{вых}i}^*(k)$, а также $H_{\text{вх}i}^*(k), i \in L$ [10]. Расчет значений критериев $\Phi_{21}^*(T), \Phi_{22}^*(T)$ эффективности функционирования СПРВ на интервале управления $[0, T]$.

2. Условия наблюдаемости СПРВ не выполняются, поэтому дополняем состав измерений давлений $h_j, j \in N \setminus N_0$ в узлах сети в предположении о равномерном законе их распределения.

2.1. В этом случае информационное состояние СПРВ на интервале $[T_r, 0]$ имеет вид $P = \{H_{\text{вх}i}(k), H_{\text{вых}i}(k), q_{\text{вых}i}(k), h_j(k) | i \in L, j \in N_0 \subset N\}$. Решаем задачу идентификации состояния сети $\forall k=0,-1,-2\dots$ и вычисляем оценки расходов $\tilde{q}_j^{(H)}(k)$.

2.2. Прогнозирование значений узловых расходов $\tilde{q}_j^{(H)}(k), j \in N$, а также $H_{\text{вх}i}(k), i \in L$, на интервал $[0, T]$.

2.3. Оптимальное распределение нагрузки между НС СПРВ $\forall k=1,2,\dots,K$ при значениях $q_j^{(H)}(k)$, вычисленных на этапе 2.2. Получаем $\tilde{n}_{\text{вых}i}^*(k)$, $\tilde{q}_{\text{вых}i}^*(k)$, $i \in L$.

2.4. Определение оптимальных структуры и параметров каждой НС [10] $\forall k=1,2,\dots,K$ при заданных значениях $\tilde{n}_{\text{вых}i}^*(k)$, $\tilde{q}_{\text{вых}i}^*(k)$, а также $\hat{N}_{\text{вх}i}(k)$.

2.5. Анализ потокораспределения в СПРВ при реализации по модели управляющих воздействий на каждой НС $\forall k=1,2,\dots,K$ и значениях узловых расходов $q_j^{(H)}(k)$, $j \in N$, полученных на этапе 1.2 [8].

3. На основании результатов этапа 2.5 вычисляем значения критериев качества $\Phi_{0i}(T)$, $\Phi_{1i}(T)$, $\Phi_{1i}^*(T)$, $\Phi_1(T)$, $i \in N$ и эффективности $\Phi_{2i}(T)$, $\Phi_2(T)$, $i \in L$ функционирования СПРВ на интервале $[0, T]$ [5]. Сравниваем их с оптимальными значениями критериев качества и эффективности функционирования СПРВ на интервале $[0, T]$, полученными на этапе 1.4.

4. Значения $n_{\text{вых}i}(k)$, $q_{\text{вых}i}(k)$, $i \in L$, $k=1,2,\dots,K$, полученные на этапе 2.5, сравниваем с эталонными значениями этих параметров, полученными на этапе 1.3, в соответствии с выражениями (1 - 3).

5. Изменение числа либо состава наблюдаемых переменных $h_j(k)$, $j \in N_0 \subset N$, $k=0,-1,-2,\dots$ и возврат к этапу 2.1.

Исследуя таким образом при различном числе и составе наблюдаемых переменных $h_j(k)$, $j \in N$, $k=0,-1,-2,\dots$, получим оценки критериев качества и эффективности функционирования СПРВ на интервале управления $[0, T]$, а также оценки критериев (1 - 3), характеризующие степень близости оптимальных решений, получаемых при внесении соответствующей величины погрешности за счет неполноты состава оперативной информации об управляемом объекте. Если задавать соответствующий уровень стохастических возмущений окружающей среды, то данный алгоритм можно распространить и на вычисление оценок эффективности управления СПРВ в зависимости от степени неопределенности моделей объекта управления и окружающей среды.

4. Выводы

Проведенные исследования показали, что для обеспечения оптимальных значений критериев качества и эффективности функционирования СПРВ на интервале управления $[0, T]$ достаточно располагать измерениями давлений только во всех локальных диктующих точках сети [6]. Дальнейшее увеличение числа измерений не приводит к улучшению этих критериев.

Этот вывод неразрывно связан с проблемой оптимального размещения датчиков на сети. Очевидно, что для предшествующего и последующего интервалов управления может изменяться не только положение локальных диктующих точек, но даже и глобальной диктующей точки (ГДТ) [6]. Поэтому целесообразно в качестве множества контролируемых точек сети использовать множество ГДТ подинтервалов некоторого длительного интервала времени. На практике при определении точек для оптимального размещения датчиков на сети необходимо сначала установить приборы временного контроля параметров в наиболее "подозрительных" точках, определяемых на основании экспертных

оценок. По прошествии же длительного интервала времени можно в ГДТ его подинтервалов размещать средства автоматического контроля параметров.

В реальных условиях функционирования СПРВ, если обеспечивать известное априори значение минимально допустимого с учетом величины запаса давления в ГДТ либо другой характерной точке сети, то заданное качество функционирования СПРВ при максимальной эффективности может быть достигнуто и при управлении по одной контролируемой точке на основе использования агрегированной модели объекта [9]. Очевидно, что такие агрегированные модели могут использоваться при управлении технологическими процессами функционирования всех реальных СПРВ, для которых множество характерных точек, находящихся в зоне совместного влияния всех работающих на СПРВ НС, не является пустым.

Литература

1. Евдокимов, А. Г. Оптимальные задачи на инженерных сетях [Текст] / А. Г. Евдокимов. – Харьков: Вища школа, 1976. – 153 с.
2. Fallside, F., Perry, P. F., Burch, R. H., Marlow, K. C. (1975). The Development of Modelling and Simulation Techniques Applied to a Computer – Based – Telecontrol Water Supply System // Computer Simulation of Water Resources Systems. – № 12. – P. 617-639.
3. Абрамов, Н. Н. Теория и методика расчета систем подачи и распределения воды. [Текст] / Н. Н. Абрамов. – М.: Стройиздат, 1985. – 288 с.
4. Меренков, А. П. Теория гидравлических цепей [Текст] / А. П. Меренков, В. Я. Хасилев. – М.: Наука, 1985. – 279 с.
5. Евдокимов, А. Г. Моделирование и оптимизация потокораспределения в инженерных сетях [Текст] / А. Г. Евдокимов, А. Д. Тевяшев, В. В. Дубровский. – М.: Стройиздат, 1990. – 368 с.
6. Евдокимов, А. Г. Оперативное управление потокораспределением в инженерных сетях [Текст] / А. Г. Евдокимов, А. Д. Тевяшев. – Харьков, 1980. – 144 с.
7. Евдокимов, А. Г. Потокораспределение в инженерных сетях [Текст] / А. Г. Евдокимов, В. В. Дубровский, А. Д. Тевяшев. – М.: Стройиздат, 1979. – 199 с.
8. Дядюн, С. В. Математическое моделирование установившегося потокораспределения в системах водоснабжения [Текст] / С. В. Дядюн // Радиоэлектроника и информатика. – Харьков, ХНУРЭ, 2000. – №4. – С. 54-56.
9. Дядюн, С. В. Моделирование и рациональное управление системами водоснабжения при минимальном объеме оперативной информации [Текст] / С. В. Дядюн // Радиоэлектроника и информатика. – Харьков, ХНУРЭ, 2002. – № 20. – С. 111-115.
10. Дядюн, С. В. Выбор оптимальных комбинаций агрегатов насосной станции городского водопровода. [Текст] / С. В. Дядюн // Коммунальное хозяйство городов. – Киев: Техніка, 1992. – Вып. 1. – С. 63-70.

References

1. Evdokimov, A. H. (1976). *Optimal'nye zadachi na inzhenernykh setiakh*. Khar'kov: Vishcha shkola, 153.
2. Fallside, F., Perry, P. F., Burch, R. H., Marlow, K. C. (1975). The Development of Modelling and Simulation Techniques Applied to a Computer – Based – Telecontrol Water Supply System. *Computer Simulation of Water Resources Systems*, 12, 617-639.
3. Abramov, N. N. (1985). *Teoriia i metodika rascheta system podachi i raspredeleniia vody*. M.: Stroiizdat, 288.
4. Merenkov, A. P., Hasilev, V. Ya. (1985). *Teoriia hidravlicheskih tsepei*. M.: Nauka, 279.
5. Evdokimov, A. H., Teviashev, A. D., Dubrovskii, V. V. (1990). *Modelirovanie i optimizatsiia potokoraspredeleniia v inzhenernykh setiakh*. M: Stroiizdat, 368.
6. Evdokimov, A. H., Teviashev, A. D. (1980). *Operativnoe upravlenie potokoraspredeleniem v inzhenernykh setiakh*. Khar'kov, 144.
7. Evdokimov, A. H., Dubrovskii, V. V., Teviashev, A. D. (1979). *Potokoraspredelenie v inzhenernykh setiakh*. M.: Stroiizdat, 199.
8. Dyadun, S. V. (2000). Matematicheskoe modelirovanie ustanovivshegosia potokoraspredeleniia v sistemakh vodosnabzheniia. *Radioelektronika i informatika*, 4, 54-56.
9. Dyadun, S. V. (2002). Modelirovanie i ratsional'noe upravlenie sistemami vodosnabzheniia pri minimal'nom obime operativnoi informatsii. *Radioelektronika i informatika*, 20, 111-115.
10. Dyadun, S. V. (1992). Vybora optimal'nykh kombinatsii ahreatov nasosnoi stantsii horodskogo vodoprovoda. *Kommunal'noe khoziaistvo horodov, Vyp. 1*, 63-70.

The efficiency of realized control depends on the degree of the adequacy of using simulation models of the object. In the article the criteria that characterize the degree of the received solutions proximity are suggested using various forms of the water supply systems model. The algorithm of efficiency estimation of water supply systems control depending on the volume and content of the controlled object operational information is suggested. It is shown that to provide the optimum values of these criteria it is sufficient to have the pressure measures at all the local dictating points of the network. It is demonstrated that further increase of the numbers of measurements do not result in improvement of the criteria meaning. The research is carried out using the method of imitation modeling of the real water supply systems functioning.

Keywords: control, model, criteria, quality, efficiency, water supply systems, pump station.

Дядюн Сергей Васильевич

Кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры

Кафедра прикладной математики и информационных технологий
Харьковский национальный университет городского хозяйства
им. А. Н. Бекетова
ул. Революции 12, г. Харьков, Украина, 61 002
Контактный тел. +38-095-20-317-50
E-mail: daulding@mail.ru

Дядюн Сергій Васильович

Кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
Кафедра прикладної математики і інформаційних технологій
Харківський національний університет міського господарства
ім. О. М. Бекетова
вул. Революції 12, м. Харків, Україна, 61 002
Контактный тел. +38-095-20-317-50
E-mail: daulding@mail.ru

Dyadun Sergey

PhD in Engineering, associate professor
Department of Applied Mathematics and Information Technologies
O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv
12, Revolution St., Kharkov, Ukraine, 61 002
Contact tel. +38-095-20-317-50
E-mail: daulding@mail.ru