

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ РЕШЕНИИ ВАРИАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

© 2016 С. А. Сазонов, К. А. Трофимов, С. С. Халыпина

Воронежский государственный технический университет

Рассматривается последовательность формирования математических моделей потокораспределения для гидравлической системы. Решение вариационной задачи для обеспечения безопасности функционирования для объектов управления позволяет получить систему уравнений, описывающих нестационарный режим течения среды.

Ключевые слова: вариационная задача, безопасность, гидравлическая система, математическое моделирование, потокораспределение.

Гидравлические сетевые системы (ГС) по характеру движения принято относить к так называемым системам с циклическими координатами. Для ГС под циклическими координатами следует понимать объем столба жидкости в пределах отдельно взятого элемента системы. Тогда объемные расходы среды Q (на участках) и q (в стоках и источниках) можно считать скоростями изменения циклических координат.

Для описания нестационарного режима течения должна быть решена вариационная задача, формализуемая выражением (рассматривается система газоснабжения)

$$\begin{aligned} & \sum_{j \in J_{\pi(f)}^z} P_j(q_j) \delta q_j - \sum_{j \in J_{\eta(p)}^z \cup J_{\eta(f)}^z \cup J_{\eta(q)}^z} P_j(q_j) \delta q_j - \\ & - \sum_{i \in I^{zr}} (P_i^{mp} + M_i \dot{Q}_i) \delta Q_i - \\ & - \sum_{j \in I_{\pi(f)}^z} \lambda_j \left(\delta q_j - \sum_{i \in I_j^{zr}} \delta Q_{ij} \right) + \\ & + \sum_{j \in J_{\eta(p)}^z \cup J_{\eta(q)}^z \cup J_{\eta(f)}^z} \lambda_j \cdot \\ & \cdot \left(\sum_{i \in I_j^{zr}} \delta Q_{ij} - \sum_{i \in I_j^{zr}} \delta Q_{ij} - \delta q_j \right) + \\ & + \sum_{j \in J_{\pi(f)}^z} \lambda_j \left(\sum_{i \in I_j^{zr}} \delta Q_{ij} - \sum_{i \in I_j^{zr}} \delta Q_{ij} \right) = 0; \quad (1) \end{aligned}$$

где P_i^{mp} – сила трения потока на участке i ; M_i – масса «столба жидкости» в трубопро-

воде участка i ; λ – неопределенный множитель Лагранжа для учета наложенных связей, выражающих неразрывность потока в узлах системы; \dot{Q}_i – ускорение потока среды на участке i в случае воздействия возмущающих факторов; символы « \leftarrow », « \rightarrow » над элементом подмножества участков показывают, что по ним осуществляется приток к узлу или отток от него соответственно.

Преобразуем третью группу слагаемых (1), используя традиционные параметры потоков и вводя закон вязкого трения Дарси-Вейсбаха

$$(P_i^{mp} + M_i \dot{Q}_i) \delta Q_i = \left(s_i Q_i^a + \rho \frac{L_i}{F_i} \frac{dQ_i}{d\tau} \right) \delta Q_i;$$

эта процедура как раз и является переводом сил трения, относящихся к реакции на движение в разряд активных сил.

Перегруппировка и объединение слагаемых (1) при одних и тех же вариациях расходов приводит к выражению

$$\begin{aligned} & \sum_{j \in J_{\pi(f)}^z} [P_j(q_j) + \lambda_j] \delta q_j - \\ & - \sum_{j \in J_{\eta(p)}^z \cup J_{\eta(f)}^z} [P_j(q_j) + \lambda_j] \delta q_j - \\ & - \sum_{i \in I^{zr}} \left[\left(s_i Q_i^a + \rho \frac{L_i}{F_i} \frac{dQ_i}{d\tau} \right) + \lambda_j - \lambda_{j+1} \right] \cdot \\ & \cdot \delta Q_i = 0; \quad (2) \end{aligned}$$

где участок i инцидентен узлам $[j, j+1]$.

Поскольку вариации расходов являются независимыми переменными с учетом множителей Лагранжа то из (2) посредством исключения неопределенных множителей может быть получена модель потокораспределения. Так как модели потокораспределения [1, 2, 3, 4] можно использовать для любых гидравлических систем, то на их основе

Сазонова Светлана Анатольевна – ВГТУ доцент кафедры пожарной и промышленной безопасности, к. т. н., доцент, e-mail: Sazonovappb@vgasu.vrn.ru;
Трофимов Константин Александрович – ВГТУ, студент.
Халыпина Светлана Сергеевна – ВГТУ, студентка.

можно рассматривать и решать любые задачи проектирования [5] и эксплуатации [6, 7] таких систем, в том числе и задачи технической диагностики [8, 9, 10]. Модели потокораспределения необходимы при реализации задач диагностики утечек [11, 12], резервирования [13, 14] и надежности [15, 16] при управлении функционированием [17, 18] с целью обеспечения безопасности функционирования ГС [19, 20] и своевременного предотвращения аварийных ситуаций [21]. Оперативное предотвращение аварий на объектах защиты возможно в случае применения современных информационных технологий [22] при дистанционном мониторинге технического состояния ГС. В этом случае в качестве вспомогательной задачи следует рассмотреть проблему информационной безопасности [23, 24]. В случае возникновения аварийных ситуаций потребуются так же решить ряд экологических [25, 26] и экономических задач [27].

ЛИТЕРАТУРА

1. Сазонова С. А. Моделирование неустановившегося и установившегося потокораспределения систем теплоснабжения / С. А. Сазонова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2013. – № 1 (10). – С. 55-60.
2. Сазонова С. А. Итоги разработок математических моделей анализа потокораспределения для систем теплоснабжения / С. А. Сазонова // Вестник Воронежского государственного технического университета. – Том 7. – № 5. – 2011 – С. 68-71.
3. Сазонова С. А. Обеспечение безопасности функционирования трубопроводных систем при реализации математических моделей на основе функционального эквивалентирования / С. А. Сазонова, В. Я. Манохин, М. В. Манохин // Вестник Воронежского государственного института ГПС МЧС России. – 2015. – № 2 (15). – С. 32-36.
4. Сазонова С. А. Особенности формирования структурных графов для систем теплоснабжения при анализе потокораспределения в задачах обеспечения безопасности / С. А. Сазонова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2016. – № 1 (22). – С. 106-112.
5. Сазонова С. А. Комплекс прикладных задач в области проектирования, обеспечивающих безопасность функционирования гидравлических систем / С. А. Сазонова // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2015. – № 3 (16). – С. 30-35.
6. Сазонова С. А. Математическое моделирование гидравлических систем в области управления функционированием и развитием / С. А. Сазонова, А.Б. Мезенцев // Моделирование систем и процессов. – 2015. – Т. 8. – № 1. – С. 60-63.
7. Сазонова С. А. Обеспечение безопасности функционирования систем газоснабжения при реализации алгоритма диагностики утечек без учета помех от стохастичности потребления / С. А. Сазонова // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2015. – № 14. – С. 60-64.
8. Сазонова С. А. Информационная система проверки двухальтернативной гипотезы при диагностике утечек и обеспечении безопасности систем газоснабжения / С. А. Сазонова // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2015. – № 14. – С. 56-59.
9. Сазонова С. А. Решение задач обнаружения утечек систем газоснабжения и обеспечение их безопасности на основе методов математической статистики / С. А. Сазонова // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2015. – № 14. – С. 51-55.
10. Сазонова С. А. Численная апробация математических моделей мониторинга безопасного функционирования систем газоснабжения / С. А. Сазонова, С. Д. Николенко, В. Я. Манохин, М. В. Манохин // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2016. – № 1 (35). – С. 255-264.
11. Николенко С. Д. Дистанционное обнаружение утечек в гидравлических системах с целью обеспечения безопасности функционирования при своевременном предупреждении аварий / С. Д. Николенко, С. А. Сазонова // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Информационные технологии в строительных, социальных и экономических системах. – Воронеж: ВГАСУ, 2016. – № 1. – С. 151-153.
12. Сазонова С. А. Решение вспомогательных задач диагностики утечек для обеспечения безопасности функционирующих трубопроводных систем / С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2015. – Т. 8. – № 1. – С. 57-59.
13. Сазонова С. А. Методы обоснования резервов при проектировании гидравлических систем / С. А. Сазонова, А. Б. Мезенцев // Моделирование систем и процессов. – 2015. – Т. 8. – № 2. – С. 37-40.

14. Сазонова С. А. Методы обоснования резервов проектируемых гидравлических систем при подключении устройств пожаротушения / С. А. Сазонова // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2015. – № 4 (17). – С.22-26.
15. Мезенцев, А.Б. Результаты расширенного вычислительного эксперимента по оценке надежности и резервированию распределительных гидравлических систем / А. Б. Мезенцев, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2015. – Т. 8. – № 2. – С. 26-29.
16. Мезенцев А. Б. Результаты расширенного вычислительного эксперимента по оценке надежности и резервированию распределительных гидравлических систем / А. Б. Мезенцев, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2015. – Т. 8. – № 2. – С. 26-29.
17. Сазонова С. А. Решение прикладных задач управления функционированием системами теплоснабжения / С. А. Сазонова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2013. – № 2 (11). – С. 59-63.
18. Сазонова С. А. Комплекс прикладных задач оперативного управления, обеспечивающих безопасность функционирования гидравлических систем / С. А. Сазонова // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2015. – № 2 (15). – С. 37-41.
19. Сазонова С. А. Обеспечение безопасности гидравлических систем при реализации задач управления функционированием и развитием / С. А. Сазонова // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2016. – № 1 (18). – С. 22-26.
20. Сазонова С. А. Обобщенная модель для обеспечения безопасности при управлении системами теплоснабжения / С. А. Сазонова // Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. – 2016. – № 3 (20). – С. 51-56.
21. Мезенцев А. Б. Имитационное моделирование аварийных ситуаций в гидравлических системах / А. Б. Мезенцев, С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2015. – Т. 8. – № 2. – С. 23-25.
22. Жидко Е. А. Высокие интеллектуальные и информационные технологии интегрированного менеджмента XXI века: монография / Е. А. Жидко // Воронеж: ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина» (г. Воронеж), 2014. – 110 с.
23. Глотова Т. В. Особенности информационной безопасности распределенных систем / Т. В. Глотова, Х. И. Бешер // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2016. – № 3 (14). – С. 19.
24. Жидко Е. А. Методология формирования системы измерительных шкал и норм информационной безопасности объекта защиты / Е. А. Жидко // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2015. – № 2 (97). – С. 17-22.
25. Жидко Е. А. Анализ состояния атмосферы в регионе и социально-экономические последствия загрязнения окружающей среды / Е. А. Жидко, В. С. Муштенко // Высокие технологии в экологии. Воронеж, 2008. – С. 69-74.
26. Жидко Е. А. Методология исследований информационной безопасности экологически опасных и экономически важных объектов: монография / Е. А. Жидко. – Воронеж: Воронежский государственный архитектурно-строительный университет, 2015. – 183 с.
27. Жидко Е. А. Методический подход к идентификации экологического риска, учитываемого в деятельности предприятия / Е. А. Жидко, В. С. Муштенко // Высокие технологии. Экология. – 2011. – № 1. – С. 11-14.

THE SAFE OPERATION OF HYDRAULIC SYSTEMS IN THE SOLUTION OF THE VARIATIONAL PROBLEM FOR THE SIMULATION OF FLOW

© 2016 S. A. Sazonova, K. A. Trofimov, S. S. Haljapina

Voronezh State Technical University

We consider a sequence of the formation of mathematical models of flow for the hydraulic system. The solution to the variational problem for the security of the functioning of the control objects allows to obtain a system of equations describing non-stationary flow regime environment.

Keywords: variational problem, safety, hydraulic system, mathematical modeling, flow distribution.