

ФОРМИРОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНИВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

© 2016 С. А. Сазонова

Воронежский государственный технический университет

Рассматриваются методы решения задачи статического оценивания для функционирующей системы газоснабжения. Реализация задачи статического оценивания в составе автоматизированной системы управления существенно увеличит скорость реагирования при принятии решения для ликвидации возможных повреждений системы газоснабжения и в целом повысит безопасность объекта управления.

Ключевые слова: система газоснабжения, безопасность, оценивание состояния.

Содержательная сущность задачи статического оценивания состояния систем газоснабжения (СГС) в инженерном смысле заключается в обеспечении надежной и качественной информации обо всех параметрах состояния функционирующей системы, являющейся объектом управления.

К быстроизменяющимся параметрам режима функционирования относятся значения [1, 2]: узловых потенциалов (H_j), отборов или притоков (g_j), расходов транспортируемой среды на участках сети (Q_i). Совокупность этих величин обозначим вектором \vec{Z} . Медленно меняющиеся параметры режима функционирования будем обозначать компонентами вектора \vec{D} .

В векторной форме математическую модель процессов, протекающих в СГС, будем представлять в виде

$$W(\vec{Z}, \vec{D}) = 0. \quad (1)$$

В (1) имеет место превышение числа параметров режима над числом уравнений в ее составе. Такое превышение называют [1] числом степеней свободы системы и их совокупность будем обозначать вектором \vec{Y} . Остальные параметры режима принято относить к зависимым, их совокупность будем обозначать компонентами вектора \vec{X} . Совокупность телеизмерений образует вектор \vec{V} , который можно представить как сумму истинных параметров режима $\vec{V}(\vec{Y})$, являющихся функциями вектора \vec{Y} и вектора ошибок $\vec{\xi}_V$, которые возникают из-за погрешности самих датчиков, помех в каналах связи,

не одновременности опроса датчиков и т. д. Таким образом, взаимосвязь между измеряемыми и оцениваемыми параметрами имеет вид

$$\vec{V} = V(\vec{Y}) + \vec{\xi}_V. \quad (2)$$

Под моделями динамики понимают любые соотношения, устанавливающие связь между параметрами режима в различные моменты времени, то есть [1]

$$P_i = \Phi_{i,k}(Y_k; Y_{k-1} \dots Y_0) - \xi_{\Phi}, \quad (3)$$

где P_i – множество прогнозируемых в момент k на момент i ($i > k$) параметров режима; $\Phi_{i,k}$ – оператор прогнозирования на момент i по данным о состоянии режима в моменты $k, k-1, \dots, 0$; ξ_{Φ} – шум динамики (непрогнозируемые изменения параметров режима).

Обычно полагают, что функциональная зависимость прогнозируемых параметров P_i от вектора Y_i состояния $P_i(Y_i)$ известна. Тогда прогнозы

$$P_i = \Phi_{i,k}(\hat{Y}_k; \hat{Y}_{k-1} \dots \hat{Y}_0) - \bar{\xi}_{\Phi}, \quad (4)$$

можно рассматривать как псевдоизмерения в i -й момент времени и использовать их совместно с обычными измерениями ($\bar{\xi}_{\Phi}$ – математическое ожидание шума динамики, символом «^» помечены оценки вектора состояния в предшествующие моменты времени). На практике используются модели динамики

$$P_i = \Phi_{i,i-1} P_{i-1}(Y_{i-1}) - \xi_{\Phi}, \quad (5)$$

где $\bar{\xi}_{\Phi} = 0$; $\text{cov}(\xi_{\Phi}) = Q_{\Phi}$. Оператор $\Phi_{i,i-1}$ представляет собой квадратную матрицу с постоянными коэффициентами. Точность прогноза определяется матрицей ковариаций

$$R_p = \Phi_{i,i-1} \left(\frac{\partial P}{\partial Y} \right)^m G_{i-1} \left(\frac{\partial P}{\partial Y} \right)^T \Phi_{i,i-1}^T + Q_{\Phi}, \quad (6)$$

где $\frac{\partial P}{\partial Y}$ – матрица производных прогнозируемых параметров по вектору состояний в

Сазонова Светлана Анатольевна – ВГТУ, доцент кафедры пожарной и промышленной безопасности, к. т. н., доцент, e-mail: Sazonovappb@vgtu.vrn.ru

$i-1$ момент времени; G_{i-1} – матрица ковариаций ошибок оценок вектора состояния Y_{i-1} .

Целевые функции (критерии оценивания состояния) базируются на метриках пространств векторов \vec{V} , \vec{Y} и известны два варианта таких критериев. Один из них является основой метода наименьших квадратов (МНК), другой – метода максимального правдоподобия (МП).

При формировании критерия оценивания в общем случае необходимо согласовывать размерности ее компонентов из-за включения в обработку разнородной информации. Однако применительно к СГС такой проблемы не возникает, поскольку источником информации является лишь манометрическая съемка. Отмеченное обстоятельство позволяет представить целевую функцию в МНК как

$$F = \sum_{j \in J_H} \frac{1}{\sigma_j^2} [H_j^3 - H_j^B(\vec{Y})]^2, \quad (7)$$

где σ_j – дисперсия ошибки j – го телеизмерения; H – потенциал в узле; верхние индексы «э», «в» – обозначают экспериментальное и вычисленное значение соответственно.

Критерий МНК (7) удобно представить в матричном виде

$$F = [H_j^3 - H_j^B(\vec{Y})]^T \times R_{(d)}^{-1} [H_j^3 - H_j^B(\vec{Y})], \quad (8)$$

где символом «d» – помечена диагональная матрица R с элементами $r_{jj} = \sigma_j^2$. В общем случае матрица R может быть и не диагональной, когда ошибки измерения влияют друг на друга. Тогда эта матрица будет симметричной относительно главной диагонали и может быть представлена как ковариационная матрица ошибок

$$R_H = \text{cov}(\xi_{\Phi}) = M(\xi_H \xi_H^m). \quad (9)$$

Задача статического оценивания по МНК заключается в том, что на основе соотношений $\vec{H}(\vec{Y})$, определяющих зависимость контролируемых величин от вектора независимых параметров, известных погрешностях измерений и вектора значений измеренных величин \vec{H}^3 определить вектор независимых переменных \vec{Y} такой, чтобы $\vec{H}^B(\vec{Y})$ наиболее близко в смысле критерия (7) к вектору \vec{H}^3 .

В методе МП предполагается, что известно или определено условное распределение случайной величины при условии реализации вектора $V: p(Y/\vec{V})$. Критерием оценивания в МП являются минимаксные оценки значений компонентов вектора \vec{Y} . Применительно к СГС этот критерий можно записать

$$\min_Y \max_{\xi_H} \|\xi_H = H_j^3 - H_j^B(\vec{Y})\|. \quad (10)$$

Если вектор ошибок ξ_H распределен по многомерному нормальному закону, то максимизация функции правдоподобия по ξ_H равносильна максимизации его степени, что совпадает с выражением целевой функции МНК [1]. В итоге, для нормального распределения оценки по МНК и МП совпадают.

Задача статического оценивания необходима при практической реализации для диагностики утечек, которой посвящены работы [3, 4, 5, 6, 7]. К прикладным задачам, реализованным с помощью применения энергетического эквивалентирования [8] в моделях потокораспределения [9], можно отнести так же резервирование [10, 11, 12], необходимость в котором неизбежна при развитии и изменении системы. Техническая диагностика позволяет получить необходимую информацию для принятия решения при управлении функционированием СГС [13, 14, 15]. При комплексном решении поставленных задач с целью обеспечения безопасности функционирования СГС, могут возникнуть дополнительные задачи [16, 17], неизбежно возникающие в случае наличия утечек или аварий на объекте защиты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сазонова С. А. Разработка методов и алгоритмов технической диагностики систем газоснабжения: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / С. А. Сазонова. – Воронеж, 2000.
2. 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. – С. 255-264.
3. Сазонова С. А. Решение задач обнаружения утечек систем газоснабжения и обеспечение их безопасности на основе методов математической статистики // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2015. – №14. – С. 51-55.
4. Сазонова С. А. Информационная система проверки двухальтернативной гипотезы при диагностике утечек и обеспечении безопасности систем газоснабжения // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2015. – № 14. – С. 56-59.
5. Сазонова С. А. Обеспечение безопасности функционирования систем газоснаб-

жения при реализации алгоритма диагностики утечек без учета помех от стохастичности потребления // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2015. – № 14. – С. 60-64.

6. Сазонова С. А. Решение вспомогательных задач диагностики утечек для обеспечения безопасности функционирующих трубопроводных систем / С. А. Сазонова // Моделирование систем и процессов. – 2015. – № 1. – С. 57-59.

7. 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.

8. 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 института ГПС МЧС России. – 2015. – № 2 (15). – С. 32-36.

9. Сазонова С.А. Моделирование неустановившегося и установившегося потоко-распределения систем теплоснабжения / С.А. Сазонова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2013. – № 1 (10). – С. 55-60.

10. Сазонова С. А. Математическое моделирование резервирования систем теплоснабжения в аварийных ситуациях / С. А. Сазонова, В. Я. Манохин, М. В. Манохин, С. Д. Николенко // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 4 (34). – С. 440-448.

11. Сазонова С. А. Оценка надежности систем газоснабжения при проведении вы-

числительных экспериментов с ординарными отказами линейных элементов / С. А. Сазонова, В. Я. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. – 2015. – № 1. – С. 138-147.

12. 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. – № 2. – С. 26-29.

13. 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.

14. 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.

15. Сазонова С.А. Математическое моделирование гидравлических систем в области управления функционированием и развитием / С. А. Сазонова, А. Б. Мезенцев // Моделирование систем и процессов. – 2015. – № 1. – С. 60-63.

16. Манохин М. В. Геоэкологические факторы и нормы накопления твердых бытовых отходов / М. В. Манохин, В. Я. Манохин, С. А. Сазонова, Е. И. Головина // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2015. – № 4 (34). – С. 370-376.

17. Сазонова С. А. Результаты вычислительного эксперимента по оптимизации оценки условий труда операторов смесителей асфальтобетонных заводов / С. А. Сазонова, С. Д. Николенко, М. В. Манохин, В. Я. Манохин, Е. И. Головина // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2016. – № 1 (12). – С. 15. <http://moit.vivt.ru/>

ESTABLISHING THE CRITERIA FOR STATE ESTIMATION IN THE COMPLEX TASK OF ENSURING THE SAFETY OPERATION OF GAS SUPPLY SYSTEMS

© 2016 S. A. Sazonova

Voronezh State Technical University

Examines problem-solving methods for the static evaluation for a functioning gas supply system. Implementation problems of static evaluation as part of the automated control system will considerably increase responsiveness when deciding to eliminate possible damage of the gas supply system and will improve the safety of the control object.

Keywords: gas supply system, security, state estimation.