

## ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО МЕТОДА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СТАТИЧЕСКОГО ОЦЕНИВАНИЯ ПРИ КОМПЛЕКСНОМ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ

© 2016 С. А. Сазонова

*Воронежский государственный технический университет*

*Рассматривается выбор рационального метода решения задачи статического оценивания для функционирующей системы газоснабжения. Решение поставленной задачи необходимо для обеспечения сходимости, определяемой нелинейными свойствами системы, для обеспечения быстрого действия обработки информации в промежуток времени между опросами системы, а так же для оценки степени влияния ошибок исходных данных на результаты расчета.*

*Ключевые слова: система газоснабжения, безопасность, оценивание состояния.*

Рассмотрим вопрос о выборе наиболее рационального метода решения задачи статического оценивания. Известно [1], что метода наименьших квадратов (МНК) требует в общем случае меньше априорной информации о распределении ошибок величин, для которых должны быть найдены статистические оценки. Однако получаемые оценки обычно более обоснованы в статистическом смысле для метода максимального правдоподобия (МП).

Анализ сходимости методов согласно [1] должен выполняться исходя из свойств системы нелинейных уравнений, формируемых в соответствии с критерием оценивания. В случае МНК это будет система нормальных уравнений, получаемая в результате приравнивания производных от целевой функции к нулю по компонентам вектора решения, которая имеет вид

$$\frac{\partial F}{\partial Y} = -2(\partial H^B / \partial Y)^m R_H^{-1} [\bar{H}^B - H^B(Y)] = 0. \quad (1)$$

Поскольку зависимость  $H^B(Y)$  нелинейная, то матрица  $(\partial H^B / \partial Y)$  также зависит от  $Y$  и система (1) оказывается нелинейной. Для ее решения выполняется линеаризация посредством разложения в ряд Тейлора в точке  $Y_0$ , то есть

$$[H^B - H^B(Y_0)]^m R_H^{-1} \left( \frac{\partial H^B}{\partial Y} \right) + \left\{ \left( - \frac{\partial H^B}{\partial Y} \right)^T R_H^{-1} \left( \frac{\partial H^B}{\partial Y} \right) + \right. \\ \left. + H^B - H^B(Y_0) m R_H^{-1} \partial^2 H^B \partial Y^2 Y - Y_0 \right\} = 0. \quad (2)$$

Критерий для метода МП приводит к регрессионной модели вида

$$H^B - H^B(Y) = 0, \quad (3)$$

число уравнений, в которой и размерность вектора неизвестных, в общем случае не совпадают, то есть матрица оказывается прямоугольной при этом система может быть несо-

вместной, для которой точного решения может и не быть. Линеаризация (3) приводит к системе уравнений

$$\left( \frac{\partial H^B}{\partial Y} \right) (Y - Y_0) = H^B - H^B(Y_0). \quad (4)$$

Для ее решения применяются специальные методы, выполняющие ортогонализацию матрицы. Решения по обоим методам будут совпадать при условии  $\frac{\partial^2 H^B}{\partial Y^2} = 0$  и масштабирования (4) посредством ее умножения на матрицу  $R_H^{-1/2}$ . Эта матрица получается из разложения  $R_H = (R_H^{1/2})^T R_H^{1/2}$  для симметричных положительно определенных матриц, которое всегда единственно [1].

Главным фактором, влияющим на выбор метода решения задачи оценивания, является степень вырожденности матрицы  $\frac{\partial H^B}{\partial Y}$ , которую в численном выражении принято характеризовать как число обусловленности. Обозначим в линеаризованной системе уравнений (2) матрицей  $A = \left( \frac{\partial H^B}{\partial Y} \right)^m R_H^{-1} \left( \frac{\partial H^B}{\partial Y} \right)$ , шаг в приращении оцениваемых параметров на одной итерации  $\Delta Y = Y_1 - Y_0$ , а столбец свободных членов  $b = \left( \frac{\partial H^B}{\partial Y} \right)^T R_H^{-1} [H^B - H^B(Y_0)]$ .

Между погрешностями в компонентах столбца свободных членов и погрешностью решения, то есть оцениваемых величин, известно соотношение:  $\|\xi_Y\| \leq \|A\| \times \|A^{-1}\| \times \|\xi_b\|$ , где в двойных скобках обозначены нормы матриц и векторов. Степенью обусловленности матрицы  $A$  принято обозначать величину  $\text{cond}(A) = \|A\| \times \|A^{-1}\| = \left| \frac{\lambda_{\max}}{\lambda_{\min}} \right|$ , где  $\lambda_{\max}$ ,  $\lambda_{\min}$  – обозначают максимальное и минимальное собственные значения матрицы  $A$ .

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

Поскольку для определителя любой матрицы известно соотношение  $\det(A) = \prod_{i=1}^n \lambda_i$  то легко получить неравенство

$$\det(A) \leq \lambda_{\max}^n \left( \frac{\lambda_{\min}}{\lambda_{\max}} \right) \leq n^{n/2} \left( \frac{\lambda_{\min}}{\lambda_{\max}} \right). \quad (5)$$

Неравенство (5) является основой простого и надежного способа оценки погрешности результатов по качеству исходных данных. Определенные требования к этой информации по существу становятся условиями решения задачи оценивания.

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, 9] в моделях потокораспределения [10], можно отнести так же резервирование [11, 12, 13], необходимость в котором неизбежна при развитии и изменении системы. Техническая диагностика позволяет получить необходимую информацию для принятия решения при управлении функционированием СГС [14, 15, 16]. При комплексном решении поставленных задач с целью обеспечения безопасности функционирования СГС, могут возникнуть дополнительные задачи [17, 18, 19, 20, 21, 22], 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 / С. А. Сазонова // 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 / С. А. Сазонова // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2015. – № 14. – С. 56-59.
5. 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.
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. Колодяжный С. А. Применение энергетического эквивалентирования для формирования граничных условий к модели анализа потокораспределения системы теплоснабжения / С. А. Колодяжный, Е. А. Сушко, С. А. Сазонова // Научный журнал. Инженерные системы и сооружения. – 2013. – № 3 (12). – С. 8-15.
10. 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.
11. 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.
12. 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.

13. 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.

14. 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.

15. 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.

16. 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.

17. 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.

18. 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, оп-

тимизация и информационные технологии. – 2016. – № 1 (12). – С. 15. <http://moit.vivt.ru/>

19. Головина. Е. И. Интегральная балльная оценка тяжести труда операторов смесителей асфальтобетонных заводов в условиях высокой запыленности рабочей зоны / Е. И. Головина, С. А. Сазонова, С. Д. Николенко, В. Я. Манохин, М. В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. – 2016. – № 1 (12). – С. 95-98.

20. Сазонова С. А. Охрана окружающей среды и обеспечение безопасности труда на асфальтобетонных заводах / С. А. Сазонова, С. Д. Николенко, В. Я. Манохин, М. В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. – 2016. – № 1 (12). – С. 111-114.

21. Манохин М. В. Охрана труда и расчет рассеивания параметров выброса вредных веществ на промышленной площадке асфальтобетонного завода / М. В. Манохин, С. Д. Николенко, С. А. Сазонова, В. Я. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. – 2016. – № 1 (12). – С. 104-107.

22. Николенко С. Д. Обеспечение безопасности труда и мероприятия по защите атмосферы на асфальтобетонных заводах / С. Д. Николенко, С. А. Сазонова, В. Я. Манохин, М. В. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. – 2016. – № 1 (12). – С. 108-110.

## **THE CHOICE OF RATIONAL METHOD OF SOLVING THE PROBLEM OF STATIC ESTIMATION IN COMPLEX DECISION TASKS, ENSURE THE SAFETY OPERATION OF GAS SUPPLY SYSTEMS**

© 2016 S. A. Sazonova

*Voronezh State Technical University*

*Discusses the selection of rational method for solving the static estimated-the functioning of the gas supply system. The solution of the problem is necessary to ensure convergence, determined by the nonlinear properties of the system, to ensure speed of information processing in the time interval between polls of the system, as well as to assess the degree of influence of initial data errors on the calculation results.*

*Keywords: gas supply system, security, state estimation.*