

УДК 681.3

С.А. Сазонова

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАГРУЖЕННОГО РЕЗЕРВА ПРИ АВАРИЯХ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный архитектурно-
строительный университет»

Для аналитического расчета нагруженного резерва пропускной способности проектируемой гидравлической системы использован аппроксимационный метод, задающий условия экстремума при преобразовании системы уравнений. В алгоритме определяется итеративно управляющее воздействие по узловым параметрам. На основе энергетического эквивалентирования при анализе потокораспределения в номинальном режиме функционирования систем выполняется настройка узловых параметров. Приведены результаты вычислительного эксперимента по апробации разработанного алгоритма на системе газоснабжения низкой ступени давления.

Ключевые слова: имитационное моделирование, гидравлические системы, резервирование, надежность, проектирование.

На основе применения энергетического эквивалентирования [1] проведен ряд исследований [2, 3] по формированию нагруженного резерва [4] гидравлических систем (ГС) при моделировании потокораспределения. Рассмотрим основные результаты моделирования нагруженного варианта резервирования при авариях ГС и результаты апробации разработанного алгоритма с помощью вычислительного эксперимента. Целью исследования будем считать необходимость обеспечения требуемого уровня надежности ГС на стадиях проектирования и эксплуатации.

Рассмотрим в виде алгоритма обоснование параметрического нагруженного резерва. В постановке задачи исследуем комплекс мероприятий, с помощью которых представится возможным при последовательном переборе участков определить ординарный отказ в одном из них [2, 3].

В постановке задачи принимаем, что из всех энергоузлов (ЭУ) в расчетной зоне (РЗ), на лимитированное потребление контролируются $J_{\eta(p)}^z \cup J_{\eta(g)}^z \cup J_{\eta(f)}^z$ - ЭУ присоединения потребителей. При этом учитываем, что при аварийном отключении участков не происходит изменения в значениях давлений для источников $J_{\pi(f)}^z$.

При нормировании надежности и при формировании нагруженного параметрического резерва будем принимать за исходные данные потребление целевого продукта (ЦП) $q_j^{плм}$ пониженное [2]. Оно определяется в зависимости от категории потребителя. Наличие отказа в ГС будет определяться из условия выхода из строя i -го ординарного участка, присоединенного к любому ЭУ РЗ из контролируемых. При этом отбор газа потребителем будет таким, что выполнится условие

$q_j^{ас} < q_j^{лим} = K_j^{лим} \times \hat{q}_j$, (где \hat{q}_j - расчетное потребление газа от ЭУ j) [2, 3].
 Общее потребление при установившемся потокораспределении $q_{\Sigma} = \sum_j q_j$; ($j \in J_{\eta(f)}^z \cup J_{\eta(p)}^z \cup J_{\eta(q)}^z$) есть производственная мощность ГС. Восстановленной ГС следует считать при конкретном варианте аварии i -го элемента, если будет выполнено условие $q_j^{ас} \geq K_j^{лим} \times \hat{q}_j$ для контролируемых ЭУ в случае увеличения диаметров на некоторой группе элементов.

Для любого режима функционирования ГС при применении функционального эквивалентирования [1, 5] расход q_j и давление P_j в ЭУ j связаны между собой через полное гидравлическое сопротивление эквивалентного участка ξ_j^3 посредством соотношения $P_j - P_{атм} = \xi_j^3 (q_j)^\alpha$. При этом выход из строя i -го элемента нужно рассматривать как возмущенное состояние [2, 3]. Можно рассматривать как верхний предел действительного гидравлического сопротивления абонента полученное значение ξ_j^3 , так как реакция потребителя в аварийной ситуации обычно направлена на его уменьшение. Из условия $P_j^{лим} - P_{атм} = \xi_j^3 (q_j)^\alpha$ можно установить минимальный уровень потенциалов в ЭУ $P_j^{лим}$. На основе применения двух условий: $q_j^{ас} \geq q_j^{лим}$; $P_j^{ас} \geq P_j^{лим}$ выполняется поиск требуемых мероприятий по резервированию.

Формализованную постановку следующего этапа можно рассмотреть в качестве задачи дискретного нелинейного математического программирования, в которой фиксируется лимитированный отбор $\hat{q}_j^{лим}$ вместо номинального потребления \hat{q}_j . Лимитированный отбор определяется из соотношения

$$\hat{q}_j^{лим} < K_j^{лим} \times \hat{q}_j, \quad (1)$$

а вместо условия (4.9) используется одностороннее ограничение вида

$$P_j^{ас} \geq \tilde{P}_j^{лим} = P_{атм} + \xi_j^3 \times (q_j^{лим})^\alpha, \quad (2)$$

и наконец, в некоторых случаях требуется соблюдение неравенства

$$R_j^{ас} \geq R_j^{лим}, \quad (3)$$

где $R_j^{ас}$ - вероятность безотказного снабжения ЭУ j [4] с учетом вида аварийной ситуации; $R_j^{лим}$ - определяемая по категории потребителя вероятность лимитируемого безотказного снабжения узла j .

Просматривается очевидная аналогия задач формирования нагруженного резерва и параметрической оптимизации, для которых при корректировке диаметров можно применять аппроксимационный алгоритм для унарной расчетной схемы на основе линеаризованной модели [1]. Поправки к корректируемому диаметру на участках ГС на каждом итеративном шаге находят в результате решения записанной в матричном виде системы линейных уравнений:

$$A_{m \times n} \times G_{n(d)} \times \delta D_{n \times 1} = 0_{m \times 1}; \quad (4)$$

$$K_{r \times n} \times B_{n(d)} \times \delta D_{n \times 1} = 0_{r \times 1}; \quad (5)$$

$$C_{p \times n} \times B_{n(d)} \times \delta D_{n \times 1} = M_{p \times e}^t \times \delta \hat{H}_{e \times 1}, \quad (6)$$

где $[\delta D]$, $[\delta \hat{H}]$ - матрицы-столбцы поправок к диаметрам и потенциалам в ЭУ соответственно; элементы диагональных матриц определяются как $G_i = (1 + \beta)Q_i^{-\alpha}D_i^\beta$; $B_i = s_i\beta D_i^{-(1+\beta)}Q_i^\alpha L_i$ - поправки к узловым потенциалам в ЭУ подключения источников отсутствуют, то есть $\delta \hat{H}_j = 0$, $j \in J_{\pi(f)}^z$.

Апробация разработанного алгоритма была выполнена на объекте исследования - системе газоснабжения, на рисунке 1 представлена ее расчетная схема. На рисунке 1 заштрихована вышедшая из режима нормального функционирования зона при аварии на системе газоснабжения низкой степени давления в следствии отключения участка {3-4}. Пунктирными линиями обозначены резервные (байпасные) участки для структурного резервирования. Из вычислительного эксперимента видно, что при авариях на ГС в некоторых ЭУ наблюдается резкое падение давления вплоть до барометрического. В таблице 1 приведены численные значения параметров системы газоснабжения села Углянец Воронежской области, полученные в результате моделирования аварийного отключения участка {3-4}.

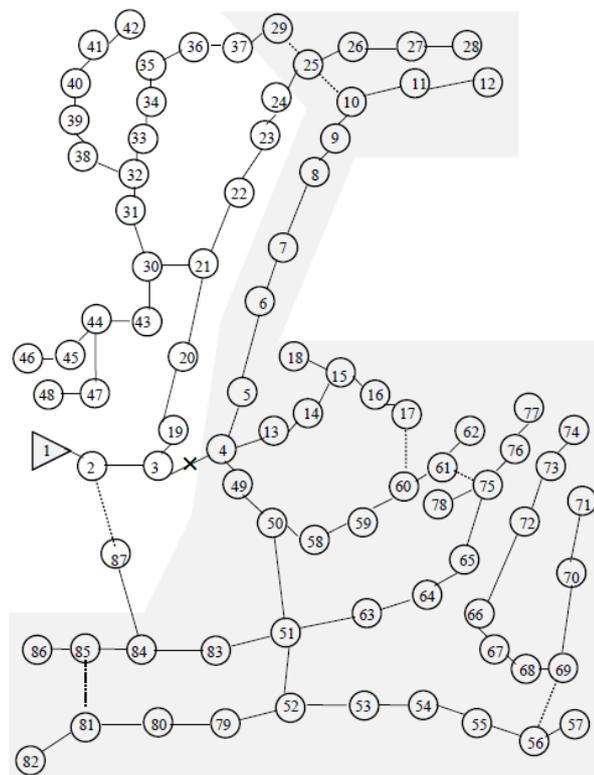


Рисунок 1 - Расчетная схема исследуемого объекта

В исходном проектном варианте системы предусматривалась разветвленная систем. Изначальное отсутствие закольцованных участков означало, что у такой системы уровень надежности [6, 7] низкий. Потребовалось снести структурные изменения в конфигурацию системы, то есть добавить 7 участков, (контуров) и таким образом образовать кольцевую систему. На схеме пунктирными линиями изображены добавленные участки. Было выполнено 75 серий вычислений. Были исключены тупиковые участки, а для оставшихся выполнены имитационные расчеты по отказам.

Предварительно до выполнения вычислительного эксперимента в последовательность были упорядочены по мере убывания суммарной недоподачи отказавшие элементы на участках {2-3},{3-4},{4-49},{49-50},{50-51}. Для перечисленных участков недоподача газа соответственно составила 95%, 46%, 23%, 22% и 18%. Таким образом была выполнена серия имитационных расчетов по отказам элементов.

Таблица 1

Результаты имитационного моделирования аварийного отключения участка {3-4} на системе газоснабжения с. Углянец, Воронежской обл.

Номер узла	Давление P_j в узле, даПа		
	до аварии	аварийное состояние	восстановленная сеть
12	181,1	0,24	119,5
18	249,2	0,42	173,9
28	182,8	0,27	112,8
42	181,2	0,23	96,5
46	181,7	0,27	114,0
48	184,8	0,26	109,4
57	181,5	0,34	140,1
62	196,9	0,37	152,1
71	182,8	0,36	146,6
74	187,6	0,37	150,4
77	186,6	0,36	146,6
78	196,3	0,38	154,6
82	209,6	5,00	212,2
86	218,9	16,88	237,8

При выполнении расчетов было выявлено, что для последовательности элементов начиная с участка {50-51} и далее не требуется выполнять резервирование, а для обеспечения нагруженного резерва ГС потребовалось на семи участках увеличить диаметры. Результаты расчетов по увеличению диаметров приведены в таблице 2. При этом потребовалось увеличить металлоемкости системы на 8%. По результатам вычислительного эксперимента порог минимальной относительной недоподачи исследуемой системы составил 15%.

Таблица 2
Результаты увеличения диаметров труб по результатам вычислительного эксперимента

Участок		80-79	83-51	84-83	84-85	87-84	2-87	85-84
Условный диаметр D_{yi} , мм	До аварии	70	70	50	50	50	50	50
	Восстановленная сеть	100	200	200	70	250	250	70

По результатам вычислительного эксперимента можно сделать вывод, что разработанный алгоритм по формированию нагруженного резерва ГС способен обеспечить требуемый уровень надежности [8, 9] системы и уровень снабжения абонентов в пределах лимитированного потребления.

В заключение отметим, что рассмотренная задача может быть реализована в комплексе с такими задачами, как статическое оценивание состояния [10] и диагностика утечек [11] в ГС с целью восполнения полной информации о функционирующем объекте исследования с помощью программного обеспечения автоматизированных систем управления или на стадии проектирования средствами систем автоматизированного проектирования [12, 13], а так же совместно с экологическими задачами [14, 15] в случае возникновения аварий на объекте защиты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Квасов И.С. Анализ и параметрический синтез трубопроводных гидравлических систем на основе функционального эквивалентирования: автореф. дис. доктора технических наук: 05.13.16 / И.С. Квасов. - Воронеж, 1998. - 30 с.
2. Сазонова С.А. Транспортное резервирование систем теплоснабжения / С.А. Сазонова // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2011. - Т. 7. - № 2. - С. 99-101.
3. Сазонова С.А. Структурное резервирование систем теплоснабжения / С.А. Сазонова // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2010. - Т. 6. - № 12. - С. 179-183.
4. Меренков А.П. Теория гидравлических цепей / А. П. Меренков, В. Я. Хасилев - М.: Наука, 1985.- 278 с.
5. Сазонова С.А. Модели оценки возмущенного состояния системы теплоснабжения / С.А. Сазонова // Инженерная физика. - 2010. - № 3 – С. 45-46.
6. Михневич И.В. К вопросу о защитных свойствах быстровозводимых сооружений на основе пневмоопалубки / И.В. Михневич, С.Д. Николенко, В.А. Попов // В сборнике: Пожарная безопасность: проблемы и перспективы: сборник статей по материалам III всероссийской научно-практической конференции с международным

- участием, 20 сентября 2012 года. ФГБОУ ВПО Воронежский институт противопожарной службы МЧС России. Воронеж, 2012. - С. 234-237.
7. Николенко С.Д. Экспериментальное исследование работы фибробетонных конструкций при знакопеременном малоцикловом нагружении / С.Д. Николенко, Г.Н. Ставров // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 1986. – № 1. – С. 18-22.
 8. Колотушкин В.В. Безопасность жизнедеятельности при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений : учеб. пособ. / В.В. Колотушкин, С.Д. Николенко. – Воронеж: ВГАСУ, 2014. – 194 с.
 9. Пат. № 2415237 Российская Федерация МПК7 E 04 G 11/04. Быстровозводимое сооружение на базе пневматической опалубки / Николенко С. Д., Казаков Д. А., Михневич И. В.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО ВГАСУ. - № 2009139731/03; заявл. 27.10.2009; опублик. 27.03.2011, бюл. № 9.
 10. Сазонова С.А. Решение задачи статического оценивания систем газоснабжения / С.А. Сазонова // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2011. - Т. 7. - № 11. - С. 139-141.
 11. Сазонова С.А. Разработка метода дистанционного обнаружения утечек в системах газоснабжения / С.А. Сазонова // Вестник Воронежского государственного технического университета. - 2011. - Т. 7. - № 11. - С. 119-121.
 12. Машевич П.Р. Инструментальные средства автоматизации проектирования изделий микроэлектроники дизайн-центра / П.Р. Машевич, В.К. Зольников, К.И. Таперо - Воронеж: ВГУ. - 2006. - 179 с.
 13. Фортинский Ю.К. Автоматизация управления и проектирования в электронной промышленности / Ю.К. Фортинский, В.Е. Межов, В.К. Зольников, П.П. Куцько. - Воронеж: ВГУ. - 2008. - 275 с.
 14. Иванова И.А. Анализ критериев экологической опасности на асфальтобетонных заводах / И.А. Иванова, С.А. Колодяжный, В.Я. Манохин // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. - 2009.- № 3. - С. 125-131.
 15. Золотарев В.Л. Прогнозирование влияния выбросов аварийно химически опасных веществ на людей и экологию с программной реализацией / В.Л. Золотарев, В.Я. Манохин, С.Д. Николенко, С.А. Сазонова // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Высокие технологии. Экология. - 2015. - № 1. - С. 8-16.

S.A. Sazonova

MODELING LOADED STANDBY AT FAILURE OF HYDRAULIC SYSTEMS

Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering

For the analytical calculation of loaded transmission capacity of the designed hydraulic systems used approximation method, which specifies the conditions of extremum of the conversion system of equations. In the iterative algorithm sets the control action is on nodal parameters. On the basis of energy reduction when analyzing the flow distribution in the nominal mode of functioning of systems set them up. The results of numerical experiment on approbation of the developed algorithm on the gas supply system low pressure stage.

Keywords: simulation, hydraulic systems, reservation, reliability and design.