



УДК 519.6:696.2

Сафонова С.А. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: Sazonovappb@vgasu.vrn.ru

Николенко С.Д. – кандидат технических наук, профессор

E-mail: nikolenkoppb1@yandex.ru

Манохин В.Я. – доктор технических наук, профессор

E-mail: manohinprof@mail.ru

Манохин М.В. – ассистент

E-mail: fellfrostqtw@gmail.com

Воронежский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 394006, Россия, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84

Численная апробация математических моделей мониторинга безопасного функционирования систем газоснабжения

Аннотация

В работе рассмотрены алгоритм и разработанный программный комплекс для диагностирования технических параметров систем газоснабжения. Проверена работоспособность математических моделей мониторинга параметров систем газоснабжения в условиях реального времени. Быстродействие программного комплекса обеспечено благодаря принятию совокупности оцениваемых параметров в виде отборов среды потребителями, что является не традиционным подходом. Диагностика технического состояния функционирующих систем газоснабжения проводилась с использованием задачи статического оценивания, в частности при формировании псевдоизмерений. Приведены результаты вычислительного эксперимента по результатам апробации алгоритма диагностики технического состояния функционирующих систем газоснабжения.

Ключевые слова: математическое моделирование, статическое оценивание, система газоснабжения, численный эксперимент, программный комплекс.

Цель разработки математических моделей мониторинга безопасного функционирования систем газоснабжения – создание работоспособных алгоритма и программного комплекса для технической диагностики текущего состояния таких систем в условиях реального времени.

Мониторинг текущего состояния, или иными словами получение информации о текущих значениях параметров состояния системы газоснабжения (СГС), осуществляется в условиях реального времени при одновременном опросе датчиков давления в энергоузлах (ЭУ) системы с помощью аппаратуры для телеизмерений. Эта информация поступает в диспетчерский пункт, обрабатывается на компьютере с помощью разработанного программного комплекса, в основу которого положены ранее разработанные математические модели [1]. Восполненная численно информация о всех параметрах текущего состояния системы является основанием для принятия решения лицом принимающим решение (ЛПР). По резкому изменению параметров системы в конкретных расчетных точках системы между телеизмерениями, ЛПР может сделать заключение о наличии аварии или сбоя в работе системы и принять оперативное решение для предотвращения развития аварийной ситуации (или изменить режим функционирования). Безопасность систем будет обеспечена за счет своевременного выезда аварийных бригад, предотвращающих развитие аварийной ситуации.

Целью и задачей является не сбор статистической информации и не констатация по авариям СГС, а профилактика (предупреждение) возможности аварии по информации в диспетчерском пункте. Задачу можно рассматривать как создание алгоритмического и программного обеспечения для информационной базы автоматизированных систем управления (АСУ). Управление системой ЛПР выходит за рамки данной работы.

Ограничим область исследования данной работы результатами вычислительного эксперимента, проведенного с помощью разработанного программного обеспечения, в котором реализована задача статического оценивания. Разработанные математические

модели для решения задачи статического оценивания состояния СГС описаны в работе [1]. Данные математические модели получены на основе применения энергетического эквивалентирования, основные положения которого изложены в работе [2].

Для проверки работоспособности математических моделей из работы [1] выполнялся вычислительный эксперимент. Для исследования была использована система газоснабжения низкой ступени давления, схема которой представлена на рис. 1. Схема состояла из 21 контура, 94 участков и 73 узлов. Энергоузлами системы являлись 2 источника питания а так же 27 узлов подключения потребителей. На рис. 1 ЭУ заштрихованы.

В соответствие с предложенным методом, основанном на применении энергетического эквивалентирования [2, 3] исходной информацией для статического оценивания являются данные датчиков давления, устанавливаемыми в ЭУ. Так как на практике не все ЭУ системы могут оснащаться датчиками, введем понятие плотности манометрической съемки ρ , под которой будем понимать отношение числа ЭУ, оснащенных датчиками к их общему количеству определяемой по формуле (1):

$$\rho = m_d^2 / m^2. \quad (1)$$

При этом величина ρ находится в диапазоне $0 \leq \rho \leq 1$ или изменяется от 0 до 100 %.

Поскольку натурный эксперимент на объекте не выполнялся, проверка работоспособности предложенного метода оценивания осуществлялась путем сопоставления результатов оценивания с «эталонным» расчетом, который получен на объекте исследования как результат решения задачи анализа потокораспределения по моделям [4, 5] без учета погрешности экспериментальных данных. Данные для эталонного расчета включали давления в источниках питания, нагрузки от потребителей, диаметры труб на участках и их длины. Все данные вводились в соответствии с расчетной схемой. Использованные обозначения, соответствовали принятым для математических моделей [1, 3]: N – порядковый номер участка, m_n , m_k – начальный и конечный узлы участка, L – длина участка, D – диаметр трубы на участке, s – толщина стенки трубы на участке, m – номер узла системы, P – фиксируемое давление в ЭУ присоединения источника питания, g – фиксируемый отбор в ЭУ присоединения потребителя, ΔP – потери давления на участке, Q – расход газа на участке, g_o , g_n – отбор газа потребителем и приток газа через источник питания.

Использованные в численном эксперименте расчетные данные по узловым давлениям в ЭУ, искусственно изменялись в соответствии с погрешностью технических средств, осуществляющих на реальных объектах манометрическую съемку. В дальнейшем они использовались как исходные данные при реализации задачи статического оценивания.

В практике эксплуатации АСУ основными исходными данными обычно считаются телеизмерения, то есть измерения, полученные не от приборов визуального контроля, а от датчиков совмещенных с устройствами телемеханики для передачи информации. Это необходимо чтобы обеспечить максимальную степень синхронности снятия всех показаний. Поэтому погрешность информации складывается из ошибок, возникающих в самих датчиках и от помех в каналах связи.

Для АСУ энергетических систем, в том числе и гидравлических систем, в настоящее время применяются датчики Государственной системы приборов, имеющие стандартизованный электрический выход 0-5 мА. Для контроля и измерения расходов целевого продукта рекомендуются дифманометры, индуктивные или ультразвуковые расходомеры. Ультразвуковые расходомеры в настоящее время не получили широкого распространения.

Составить объективное представление о погрешностях, возникающих в каналах связи, мешает то, что для этих устройств не применяется понятие класса точности. В литературе, посвященной техническим средствам АСУ, приводится достаточно обширный перечень комплексов, выполняющих телеизмерения на гидравлических трубопроводных системах. Однако никакой количественной, информации о помехах, возникающих в каналах связи таких комплексов, не приводится. В настоящее время, класс точности телеизмерительных систем в энергетике часто определяется классом точности датчиков. Для каналов связи, причина дополнительных погрешностей

заключается в не одновременности опроса датчиков, то есть существует возможность возникновения так называемых динамических ошибок. Для анализа таких ошибок обычно используются ковариационные функции.

Анализируя сведения о технических средствах получения и передачи информации на базе промышленных комплексов автоматизации можно сделать вывод, что верхний предел погрешности оценивается величиной – 2 %.

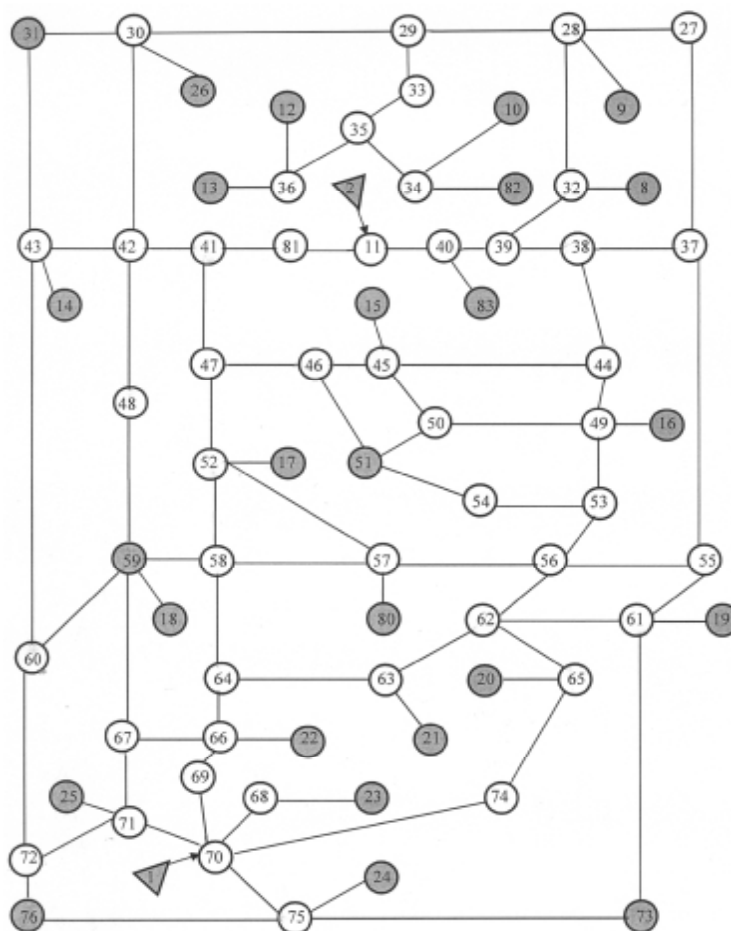


Рис. 1. Расчетная схема объекта

Выполненный вычислительный эксперимент состоял из пяти вариантов расчета задачи статического оценивания [1]. В первых трех вариантах варьировалось значение погрешности манометрической съемки, которая соответственно принималась равной 0,5; 1,0 и 2,0 %. Плотность манометрической съемки во всех трех случаях принималась равной единице. Исходные данные для оценивания принимались с учетом соответствующей относительной погрешности, при этом знак выбирался в половине ЭУ положительным, а в другой половине – отрицательным.

Результаты вычислительного эксперимента при плотной манометрической съемке показали, что между данными эталона и рассчитанными по программе для статического оценивания, среднеквадратическая погрешность находится в пределах допустимой погрешности исходной информации во всех расчетных вариантах. При этом такие пределы соблюдаются по всем быстро меняющимся параметрам (давление и отборы в узлах, расходы и потери давления на участках). Статистические характеристики полученных оценок для параметров режима приведены в таблице, в которой указаны значения среднеквадратических отклонений, отнесенные к соответствующим параметрам режима функционирования.

Таблица

Среднеквадратические отклонения результатов оценивания

Номер варианта расчета	Значения среднеквадратических отклонений результатов, %		
	σ_g	σ_Q	$\sigma_{\Delta H}$
1	0,33	0,26	0,13
2	2,28	2,21	1,30
3	3,03	2,27	2,53
4	3,88	4,49	6,73
5	3,43	4,86	5,11

Так как закономерность распределения ошибок численных результатов статического оценивания состояния осуществляется по закону распределения близкому к нормальному, то возможно применить метод наименьших квадратов для решения рассматриваемой задачи. Заметим, что процедура «взвешивания» в методе наименьших квадратов, заключается в учете весовых функций, отражающих погрешность отдельных замеров при манометрической съемке и соответствующим обратным величинам квадратов дисперсий ошибок отдельных датчиков. Так как вычислительный эксперимент проводился на расчетных данных, величины которых условно можно считать одной точности, то значения весовых функций можно принять равными единице.

Целью четвертого варианта проводимого эксперимента явилось исследование возможности предложенного способа формирования псевдоизмерений. Поставленная цель достигалась путем исключения последовательно по одному из значений давления в ЭУ, которые подвергались обработке. В итоге расчеты выполнялись в течение 17 этапов. При этом, замена данных псевдоизмерениями после исключения их из обработки и не были произвольными. Проблема рациональной установки датчиков на исследуемом объекте является отдельной самостоятельной задачей. Эта проблема относится традиционно к проблеме синтеза систем сбора данных и в настоящей работе не рассматривается.

Проведенные расчеты показали, что исключение из обработки информации для любого из ЭУ (например 26, 82, 25) приводит к резкому ухудшению результатов оценивания. В двух последних случаях этому есть объяснение. Так как псевдоизмерения формируются по усредненным значениям измеренных давлений через функцию θ [1], то исключение из обработки информации от датчиков, определяющих минимальное (82) и максимальное (25) значения давлений в системе, исключает возможность корректного усреднения. В рассмотренном случае достаточно в процедуре нахождения θ учитывать ЭУ подключения источников питания.

Факт потери устойчивости решения при исключении информации для ЭУ (26) из обработки пока можно объяснить только спецификой конфигурации системы и значениями диаметров труб на участках, в окрестности данного энергоузла. Во всех без исключения вариантах расчетов, погрешность оценки узловых давлений в области узла (26) находится в пределах $\pm 2\sigma \pm 4\sigma$ (на рис. 2 эта область заштрихована). Для установления причин ухудшения результатов требуются дополнительные исследования, связанные с оценкой свойств матриц в системе нормальных уравнений [1], то есть необходимо обращение к чисто математической проблеме наблюдаемости.

Из всех расчетов с формированием псевдоизмерений приведен только один вариант, для которого достигнута погрешность результатов оценивания, отвечающая инженерному уровню при минимальном числе в 10 датчиков. Их размещение на схеме объекта показано на рис. 2. В таблице приведены статистические характеристики полученного варианта решения.

Данный вариант результатов важен в силу того, что при плотности производимой манометрической съемки менее 35 % можно получить удовлетворительную оценку состояния рассматриваемой системы. Однако, достигнутый показатель минимально допустимой плотности съемки нельзя распространять на другие системы без дополнительных исследований. Несмотря на это, данный результат позволяет пересмотреть требования, которые считаются классическими, к топологической наблюдаемости.

Целью пятого варианта вычислительного эксперимента ставилась определение работоспособности алгоритма при формировании псевдоизмерений в узлах с крупными сосредоточенными отборами. Таких узлов в системе два: (59) – 150 м³/ч, что составило 20 % общей нагрузки сети и (51) – 100 м³/ч, что составило 15 % общей нагрузки сети. В этом варианте из обработки были исключены исходные данные для узла (51). Статистические характеристики результатов оценивания в виде гистограммы среднеквадратических отклонений представлены на рис. 4 б). Результаты оценивания можно в принципе признать удовлетворительными.

Следует отметить, что обобщать такой результат невозможно, поскольку аналогичный эксперимент с узлом (59) не дал положительного решения.

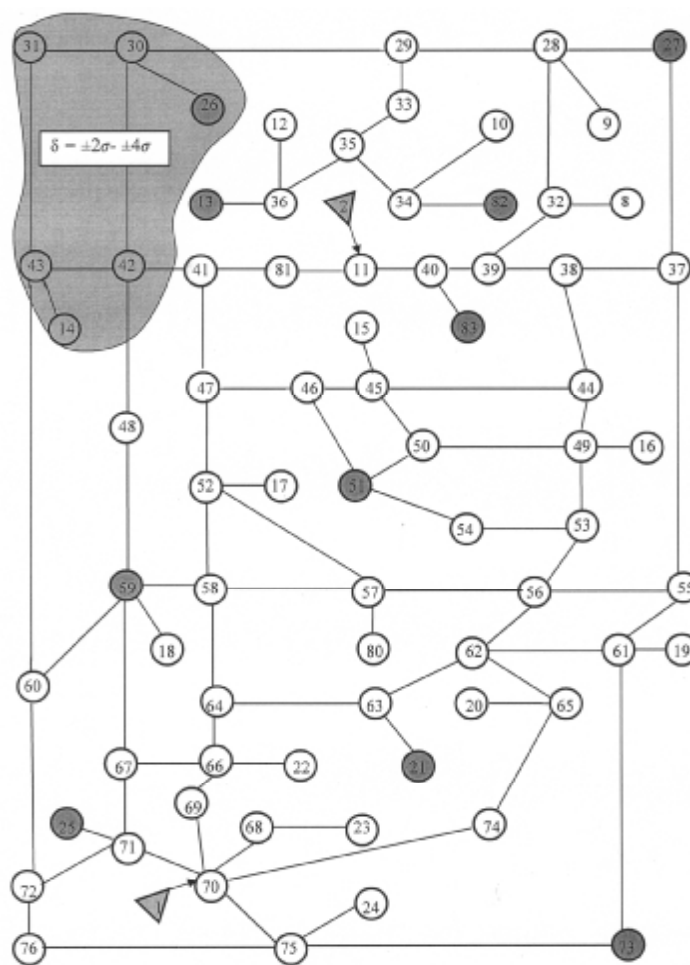


Рис. 2. Положение датчиков на объекте исследования при неплотной съемке

Завершая обсуждение результатов решения задачи статического оценивания при проведении неплотной манометрической съемки, следует отметить, что в расчетах 4 и 5 вариантов относительные погрешности источников данных принимались равными 0,5 %.

Свойства рабочих матриц систем нормальных уравнений [1] представляют интерес с вычислительной точки зрения. Они могут быть оценены по степени обусловленности. Результаты таких оценок, полученные с помощью процедуры встроенной в подпрограмму реализации метода Гаусса при решении систем линейных уравнений, показали, что степень обусловленности во всех вариантах расчетов на любой итерации находилась в пределах от $0,1 \cdot 10^3$ до $0,1 \cdot 10^5$. В результате можно утверждать, что предлагаемый способ формирования псевдоизмерений является устойчивым с вычислительной точки зрения, поскольку стандартная длина мантиссы составляет 7 значащих цифр.

Проведенный вычислительный эксперимент включал исследования алгоритмов статического оценивания параметров режима. Теоретические разработки охватывают комплексную техническую диагностику состояния систем газоснабжения, включая утечки. Апробация всего разработанного программного комплекса выходит за рамки настоящей работы. Это обусловлено двумя обстоятельствами. Первое – реализация задачи диагностики утечек рассмотрена в работах [3, 6]. Второе – алгоритм идентификации факта утечки в вычислительном плане не представляет принципиальных трудностей. Однако проверка его работоспособности указанного алгоритма в рамках только вычислительного эксперимента представляется пока проблематичной, поскольку в этом случае необходимо численно имитировать динамику гидравлической системы для обеспечения представительной выборки при проверке двухальтернативной гипотезы. Поэтому без конкретных технологических ограничений на диапазоны изменения гидравлических эквивалентов абонентских подсистем, получаемые результаты трудно будет признать убедительными.

Приведенные пять вариантов численного решения задачи статического оценивания охватывают в рамках имитационного моделирования весь спектр возможных сценариев изменения режимов функционирования. В рамках задачи статического оценивания можно получить только значения параметров функционирования системы, достаточные для отслеживания в диспетчерских пунктах резких изменений параметров.

Для реализации разработанных в [1] математических моделей для статического оценивания состояния разработан вычислительный комплекс на базе пакета прикладных программ Hydrograph [3]. Основное предназначение пакета заключается в проведении гидравлических и технико-экономических расчетов в двух проблемных областях управления трубопроводными системами: проектирования и эксплуатации. Характер целевого продукта (газ, вода, нефть или любой другой ингредиент) принципиального влияния на компоновку программных средств в рамках загрузочных модулей не оказывает и определяет лишь совокупность констант, задающих вид и параметры соотношений гидравлики. Методологической базой пакета являются результаты исследований на основе применения энергетического эквивалентирования [3]. В составе пакета Hydrograph имеется 79 программных модулей, содержащих около 8,5 тысяч операторов.

Поскольку в разрабатываемом вычислительном комплексе используются типовые модули пакета, приведем краткое описание их назначения. Программные модули распределены по пяти следующим группам: программы управления, обеспечивающие управление выполнением отдельных этапов решения задач; программы формирования структурного состава гидравлической системы, обеспечивающие накопление и систематизацию информации о структурных элементах системы; программы ввода и вывода данных, производящие систематизацию исходных данных и результатов расчета; сервисные программы, способствующие удобству восприятия результатов расчета и сообщений об ошибках при анализе исходных данных и в процессе решения задач; вычислительные программы, реализующие стандартные алгоритмы математических методов для решения типовых задач прикладной математики.

Так как для проверки работоспособности разработанных методов и алгоритмов [1] применялось имитационное математическое моделирование, то качество оценивания определялось путем сравнения получаемых результатов с эталонным расчетом, полученным в результате численного решения прямой задачи анализа потокораспределения.

В реальных условиях для обеспечения безопасной эксплуатации системы газоснабжения с помощью разработанных программ потребуется проводить мониторинг технического состояния СГС через определенные экспериментально промежутки времени. Обязательным условием при оснащении системы приборами является установка датчиков давления в энергоузлах. Датчики должны быть оснащены устройствами телемеханики для синхронного опроса их на всей системе. Полученная таким образом информация, называемая «мгновенным снимком системы». Она должна синхронно поступить в диспетчерский пункт в качестве входных данных при расчете по разработанному программному комплексу. Существенным достижением разработанных моделей является то, что не требуется на контролируемом объекте устанавливать

расходомеры, так как при решении задачи на основе применения энергетического эквивалентирования будет полностью восполнена информация о расходах среды в узлах и на участках системы. В качестве исходных данных в программе должны быть введены данные о параметрах системы: конфигурация объекта (матрица инцидентий); метрические характеристики элементов (длины участков, диаметры труб); индексы, определяющие материал, из которого изготовлены трубы; количество энергоузлов; общий приток через питатели; характеристики насосного оборудования или резервуаров; значения измеренных узловых потенциалов; погрешность датчиков, данные о геодезической съемке; совокупность констант, используемых в расчетах.

Выходными параметрами после расчета будет вся ранее недостающая информация о системе, в том числе для элементов системы не оснащенных датчиками. Для любой точки системы в фиксированный момент времени будут определены значения расходов среды на участках и в узлах. Полученная таким образом полная информация о системе будет называться статическим оцениванием параметров состояния. Если проводить оценивание системы через определенный промежуток времени (определяемый на практике) можно в диспетчерском пункте получить информацию о параметрах системы в реальном времени и отслеживать изменения параметров между двумя соседними опросами. При наличии явных изменений будет виден их масштаб и местоположение в системе. Таким образом можно выполнить техническую диагностику системы, отследить аварии, утечки или не санкционированные отборы целевого продукта, подробно рассмотренные в работах [3, 6].

Для проведения натурального эксперимента потребуются такие же приборы и устройства, как и для проведения мониторинга технического состояния. В настоящее время не представляется возможным провести указанный натуральный эксперимент на распределительных системах газоснабжения с силу отсутствия на них требуемых приборов и устройств. Приобретение и установка приборов и устройств весьма дорогостоящи в настоящее время, поэтому указанные проблемы будут рассматриваться в будущем. В связи с вышесказанным примеры практического применения программного комплекса могут быть получены после требуемого технического оснащения системы.

Чтобы получить полную, достоверную информацию в диспетчерских пунктах о результатах технической диагностики СГС, потребуется между двумя оцениваниями состояния проводить диагностику утечек с определением их координат и объемов в соответствии с работой [3], в которой приведены примеры численного решения задачи диагностики утечек. В работе [6] разработан метод определения факта существования утечки на фоне «шума» потребителей.

Техническую диагностику (совместное решение задач статического оценивания и диагностики утечек) предполагается проводить в реальных условиях. На практике диагностировать систему при наличии требуемого оборудования можно будет в условиях реального времени, что будет обеспечивать безопасность ее функционирования за счет оперативности реагирования в случае возникновения аварии.

Для функционирующих систем газоснабжения представляет интерес задача реструктуризации и параметрической оптимизации. Посвященные данному вопросу математические модели из работ [7, 8] можно реализовать при комплексном решении задачи технической диагностики гидравлических систем. Разработанные на основе применения энергетического эквивалентирования модели управления функционированием систем водоснабжения [9, 10] так же можно использовать при решении комплексной задачи диагностики, с условием учета особенностей функционирования систем газоснабжения.

В заключение отметим, что по результатам проведенного численного эксперимента можно сделать вывод о том, что для систем газоснабжения в программном обеспечении обеспечен оперативный контроль быстро изменяющихся параметров режима, основанный на реализации двух алгоритмически взаимосвязанных задач: диагностики утечек [6] и статического оценивания [1]. Так как они принадлежат к задачам разного класса, то их совместная формализация невозможна.

В программном комплексе реализованы разработанные ранее метод решения и математическая модель задачи статического оценивания [1]. Быстродействие

программного комплекса обеспечено благодаря принятию совокупности оцениваемых параметров в виде отборов среды потребителями, что является не традиционным подходом. Практическая ценность предложенного метода заключается в том, что в выбраны узловые давления качества оцениваемых параметров, позволяющих в качестве информации об исходном состоянии объекта применить наиболее подходящий способ контроля режима функционирования в виде манометрической съемки.

Программный комплекс реализует разработанную ранее математическую модель для формирования псевдоизмерений [1] с целью преодоления недостатка экспериментальных данных об объекте исследования при решении задачи статического оценивания. В основе математической модели применен принцип энергетического эквивалентирования, который физически обоснован в работах [2, 3].

Разработанный программный комплекс позволил провести вычислительный эксперимент, подтвердивший работоспособность разработанных моделей [1] с погрешностью соответствующей качеству исходных экспериментальных данных, получаемых по результатам опроса датчиков давления, установленных на системе газоснабжения. Разработанный программный продукт представляется возможным использовать для технической диагностики городских систем газоснабжения в условиях реального времени. Внедрение программного комплекса в практику эксплуатации позволит обеспечить надежность и экономичность при проектировании и функционировании объектов защиты, а, следовательно, повысить их безопасность при эксплуатации.

Список библиографических ссылок

1. Сазонова С.А. Решение задачи статического оценивания систем газоснабжения // Вестник Воронежского государственного технического университета, 2011, т. 7, № 11. – С. 139-141.
2. Колодяжный С.А., Сушко Е.А., Сазонова С.А. Применение энергетического эквивалентирования для формирования граничных условий к модели анализа потокораспределения системы теплоснабжения // Инженерные системы и сооружения, 2013, № 3 (12). – С. 8-15.
3. Щербаков В.И., Панов М.Я., Квасов И.С. Анализ, оптимальный синтез и реновация городских систем водоснабжения и газоснабжения. – Воронеж: ВГУ, 2001. – 292 с.
4. Сазонова С.А. Итоги разработок математических моделей анализа потокораспределения для систем теплоснабжения // Вестник Воронежского государственного технического университета, 2011, т. 7, № 5. – С. 68-71.
5. Колосов А.И., Панов М.Я., Стогней В.Г. Моделирование потокораспределения на этапе развития структуры городских систем газоснабжения // Вестник Воронежского государственного технического университета, 2013, т. 9, № 3-1. – С. 56-62.
6. Сазонова С.А. Разработка метода дистанционного обнаружения утечек в системах газоснабжения // Вестник Воронежского государственного технического университета, 2011, т. 7, № 11. – С. 119-121.
7. Колосов А.И., Панов М.Я. Математическое моделирование процесса реструктуризации городских систем газоснабжения низкой ступени давления // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура, 2013, № 2 (30). – С. 34-41.
8. Панов М.Я., Суворова Ю.В. Параметрическая оптимизация городских систем газоснабжения // Инженерные системы и сооружения, 2013, № 1 (10). – С. 10-14.
9. Панов М.Я., Петров Ю.Ф., Щербаков В.И. Модели управления функционированием систем подачи и распределения воды. – Воронеж: ВГАСУ, 2012. – 272 с.
10. Панов М.Я., Петров Ю.Ф., Щербаков В.И. Теория и методы управления функционированием систем водоснабжения // Инженерные системы и сооружения, 2011, № 1. – С. 71-86.

Sazonova S.A. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: Sazonovappb@vgasu.vrn.ru

Nikolenko S.D. – candidate of technical sciences, professor

E-mail: nikolenkoppb1@yandex.ru

Manokhin V.Ya. – doctor of technical sciences, professor

E-mail: manohinprof@mail.ru

Manokhin M.V. – assistant

E-mail: fellfrostqtw@gmail.com

Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering

The organization address: 394006, Russia, Voronezh, 20-letiya Oktyabrya st., 84

Numerical testing of mathematical models for monitoring the safe functioning of gas supply systems

Resume

The developed algorithms and software systems implemented previously developed method for solving the problem and the mathematical model for estimating the static gas supply systems. The same software package implements a mathematical model developed earlier for the formation pseudo measurement to overcome the lack of experimental data about the object of research. At the basis of mathematical models applied the principle of energy equivalenting.

The software package provided with operational control of the rapidly changing mode settings, based on the realization of two interrelated problems algorithmically: diagnosis of leaks and static evaluation. Performance of software provided through the adoption of the aggregate of the estimated parameters in the form of selection among consumers, which is not the traditional approach. The practical value of the proposed method is that the pressure of the selected nodes as the estimated parameters, allowing for information about the initial state of the object to apply the most appropriate way to control the mode of operation of a manometer shooting.

The developed software package enabled a computer experiment, confirmed the efficiency of the earlier models with an accuracy corresponding to the quality of the original experimental data obtained in a survey of pressure sensors installed on the gas supply system. The developed software is possible to use for technical diagnosis of urban gas supply systems. Introduction of the complex into practice will ensure reliable operation and cost in the design and operation of the protection, and hence improve their safety in use.

Keywords: mathematical modeling, static estimation, gas supply system, a numerical experiment, software package.

Reference list

1. Sazonova S.A. Decision of static estimation task for gas supply system // The herald of state technical university in Voronezh, 2011, v. 7, № 11. – P. 139-141.
2. Kolodyazhny S.A., Sushko E.A., Sazonova S.A. Application for the formation of energy equivalenting boundary conditions for models of analysis of the heat supply system // Engineering systems and constructions, Voronezh, 2013, № 3. – P. 8-15.
3. Sherbakov V.I., Panov M.Ya., Kvasov I.S. Analysis, optimal synthesis and renovation municipal system water-supply and natural gas industry. – Voronezh: Publishing house VGU, 2001. – 292 p.
4. Sazonova S.A. Totals of the developments of the mathematical models of distribution flow analysis for heat supply system // Vestnik of VSTU, 2011. v. 7, № 5. – P. 68-71.
5. Kolosov A.I., Panov M.Ya., Stogney V.G. Simulation of the flow distribution in the stage of development of the structure of urban gas supply systems // Vestnik of VSTU, 2013, v. 9, № 3-1. – P. 56-62.
6. Sazonova S.A. Development of the method of the remote finding drain in system of gas supply // Vestnik of VSTU, 2011, v. 7, № 11. – P. 119-121.

7. Kolosov A.I., Panov M.Ya. Mathematical modeling of the process of restructuring the urban systems of gas supply of low pressure stage // Vestnik of VSTU. Building and architecture, 2013, № 2 (30). – P. 34-41.
8. Panov M.Ya., Suvorova Yu.V. Parametric optimization of urban gas supply systems // Engineering systems and constructions. – Voronezh, 2013, № 1. – P. 10-14.
9. Panov M.Ya., Petrov Yu.F., Sherbakov V.I. Models of management systems functioning water supply and distribution. – Voronezh: VGASU, 2012. – 272 p.
10. Panov M.Ya., Petrov Yu.F., Sherbakov V.I. Theory and methods of management of functioning of water supply systems // Engineering systems and constructions. – Voronezh, 2011, № 1. – P. 71-86.