

ПРИМЕНЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЁННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ РОССИИ

Еделев Алексей Владимирович¹

К.т.н., старший научный сотрудник, e-mail: flower@isem.irk.ru

Сендеров Сергей Михайлович¹

Д.т.н., заместитель директора, e-mail: ssm@isem.irk.ru

Сидоров Иван Александрович²

К.т.н., научный сотрудник, e-mail: ivan.sidorov@icc.ru

¹ФГБУН Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН,

664033 г. Иркутск, ул. Лермонтова 130

²ФГБУН Институт динамики систем и теории управления СО РАН,

664033 г. Иркутск, ул. Лермонтова 134

Аннотация. Статья посвящена решению проблемы формирования перечня критически важных объектов газотранспортной сети России с учетом требований энергетической безопасности. Предложен подход выделения критически важных объектов энергетических систем в зависимости от их влияния на общую работоспособность системы. Осуществляется это путём анализа уровня негативных последствий для потребителей от прекращения или нарушения работы конкретного объекта. Анализ осуществляется с помощью распределённой вычислительной среды, которая формируется средствами программно-вычислительного комплекса «Нефть и газ России» и инструментария DISCOMP, предназначенного для организации многовариантных численных экспериментов в разнородных распределённых вычислительных средах.

Ключевые слова: энергетическая безопасность, программно-вычислительный комплекс, система энергетики, распределённая вычислительная среда

Введение. В 2012 г. МЧС России утвердило Методику отнесения объектов государственной и негосударственной собственности к критически важным объектам для национальной безопасности Российской Федерации [3]. Рассмотрение такой важной составляющей национальной безопасности страны, каковой является энергетическая безопасность (ЭБ) [6], делает необходимым выделение таких же критически важных объектов (КВО) для топливно-энергетического комплекса (ТЭК) в целом и для отдельных систем энергетики (СЭ). Дополнительное обоснование такой необходимости состоит в том, что функционирование ТЭК и составляющих его СЭ является важнейшим фактором обеспечения нормальной жизнедеятельности экономики, как всей страны, так и отдельных ее регионов.

Рассмотрение такого аспекта ЭБ, как создание условий для максимально возможной степени удовлетворения энергоресурсами потребителей в условиях чрезвычайных ситуаций (ЧС) требует выделения КВО в ТЭК, т.е. тех объектов, частичный или полный выход из строя которых (во время ЧС) может нанести стране максимальный ущерб со стороны ТЭК. Выделение КВО ТЭК непосредственно связано с двумя важнейшими задачами:

- выявление и нейтрализация разного рода угроз устойчивому топливно- и энергоснабжению потребителей (включая угрозы реализации террористических актов на объектах ТЭК);
- заблаговременная подготовка объектов и систем ТЭК к работе во время ЧС, вызванных реализацией угроз различного вида.

1. Методика формирования перечня критически важных объектов газотранспортной сети. Для европейской части России и Урала, где проживает более 82% населения страны, основной вид топлива – природный газ. В целом по стране доля газа в балансе котельно-печного топлива (КПТ) составляет около 77%. В значительной части регионов его доля в балансе КПТ превышает 90-95%, а иногда доходит и до 99%.

На территории России сосредоточены значительные запасы газа (полуострова Ямал, Гыдан, шельф Баренцева и Карского морей). В стране функционирует разветвленная система магистральных газо- и нефтепроводов и сложнейшая географически распределенная система топливно- и энергоснабжения, охватывающая всю территорию России. Сложившаяся территориальная структура системы газоснабжения России обуславливает ее существенные недостатки. Например, европейская часть страны не обеспечена собственными запасами топливно-энергетических ресурсов. Здесь в основном используется природный газ, более 90% которого добывается в одном газодобывающем районе (Надым-Пур-Тазовский район Тюменской области). Этот район находится в 2–2,5 тыс. км от мест основного потребления газа. Таким образом, практически весь российский газ транспортируется на дальние расстояния по системам магистральных газопроводов, имеющим большое количество взаимных пересечений и перемычек, к тому же нитки мощных магистральных газопроводов часто проложены на малом расстоянии друг от друга. В настоящее время в газотранспортной системе (ГТС) России можно отметить более 20-ти потенциально опасных для функционирования системы пересечений магистральных газопроводов.

На современном этапе, в качестве КВО в ГТС Единой системы газоснабжения (ЕСГ) можно рассматривать следующие виды объектов: головные компрессорные станции (КС) на месторождениях, подземные хранилища газа (ПХГ), линейную часть магистральных газопроводов (МГ).

Критически важным при этом предлагается считать каждый объект, при нарушении работы которого, суммарная относительная недопоставка газа потребителям составит 5% и более от суммарной потребности в газе (потребление внутри страны и поставки на экспорт) по системе. Данная величина (5%) была обоснована в результате многоитерационных расчётов при решении задачи о максимальном потоке минимальной стоимости [5, 7] и позволяет выделить в качестве КВО ограниченное число объектов (ориентировочно 20–30).

Количество объектов добычи газа и ПХГ в ГТС относительно невелико и расчёты по последствиям нарушения работы каждого из таких объектов могут быть проведены вручную. Количество дуг магистрального транспорта газа в ГТС и количество пересечений этих дуг настолько велико, что проверку значимости каждой дуги или каждого пересечения для решения общих задач системы целесообразно проводить с помощью вычислений в распределённой вычислительной среде (РВС).

Итак, для ГТС России на предмет формирования перечня КВО с позиций живучести ЕСГ рассмотрим многочисленные пересечения коридоров магистральных газопроводов или

отдельно идущих магистральных газопроводов. При этом придётся рассматривать как пересечения магистральных газопроводов на узловых КС, так и пересечения вне КС.

Методика формирования перечня КВО ГТС состоит из следующих шагов:

- 1) формируется полный список пересечений магистральных газопроводов;
- 2) в результате многовариантных расчётов при решении задачи определения максимального потока минимальной стоимости определяется суммарный дефицит газа у потребителей при нарушении работы каждого из пересечений;
- 3) все пересечения ранжируются в списке в зависимости от величины суммарной относительной недопоставки газа потребителям при нарушении работы конкретного пересечения;
- 4) все пересечения, при нарушении работы которых суммарная относительная недопоставка газа потребителям составит 5% и более суммарной потребности в газе по системе (учитываются и внутренние потребности страны и потребности экспорта), считаются критически важными и формируют перечень КВО ГТС;
- 5) для каждого пересечения из перечня КВО выделяется перечень субъектов России, потенциально страдающих от дефицита газа при нарушении работы данного пересечения, с характеристиками соответствующих относительных недопоставок газа по каждому из субъектов;
- 6) для каждого пересечения из перечня КВО решается задача об оптимальном преобразовании сети [1] и на этой основе определяются мероприятия, позволяющие минимизировать дефицит газа у потребителей путём расшивки «узких мест», образовавшихся при нарушении работы данного пересечения;
- 7) в результате расчётов при решении задачи об оптимальном преобразовании сети формируется перечень инвариантных мероприятий, реализация которых позволит снизить негативные последствия от нарушения работы большего числа пересечений из перечня КВО и тем самым понижения рейтинга отдельных КВО вплоть до исключения их из списка КВО.

2. Программно-вычислительный комплекс "Нефть и газ России". Для исследования функционирования СЭ при различных условиях работы и оказания помощи в определении «узких» мест, сдерживающих возможности удовлетворения потребности отдельных районов, был разработан программно-вычислительный комплекс (ПВК) "Нефть и газ России" [9], современная архитектура которого показана на рис. 1.

Исходная информация по СЭ импортируется из внешнего источника данных. На основе исходной информации строится схема СЭ, представляющая собой ориентированный граф. В зависимости от цели исследования граф СЭ при расчёте преобразуется в одну из следующих задач потокораспределения:

- нахождение максимального потока минимальной стоимости;
- оптимальное преобразование сети;
- распределение излишков добытого или выработанного энергоресурса.

Непосредственный расчёт задачи потокораспределения осуществляется с помощью решателя `lp_solve` [8].

Современная архитектура ПВК "Нефть и газ России" учитывает использование его модулей в распределённой вычислительной среде (РВС), поэтому в случае необходимости множественных расчётов при решении задачи потокораспределения может быть распределён

по вычислительным узлам РВС. Для последних разработан расчётный модуль, вызываемый из командной строки.

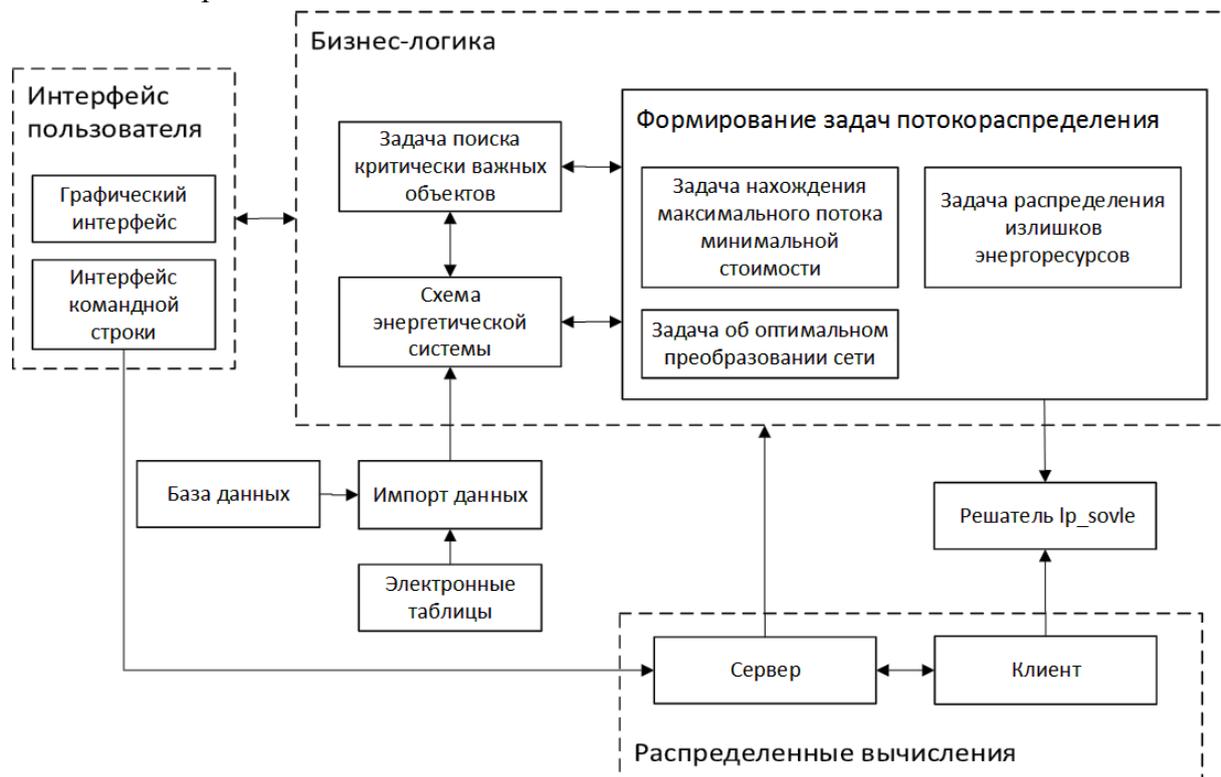


Рис. 1. Функциональная схема ПВК "Нефть и газ России"

Для однократных расчётов задачи потокораспределения и дальнейшего анализа результатов расчёта используется специализированная геоинформационная система (ГИС) [2]. В ГИС схема СЭ представлена в виде электронной карты, состоящей из двух слоёв с векторными данными. Первый слой, представленный точечными объектами, характеризует состояние производителей, а также показывает, полностью ли удовлетворены нужды потребителей энергоресурса. Второй слой, представленный линиями, даёт представление о степени загруженности транспортной подсистемы. С точечными объектами первого слоя связывается атрибутивная информация о производстве и потреблении энергоресурса, а с линиями второго слоя - информация об участках магистральных трубопроводов (пропускная способность, количество труб, их диаметр и т.д.).

Характеристика текущего режима работы объектов системы энергетики определяется в результате расчёта задачи потокораспределения и отображается цветом компонентов векторных слоёв. Например, для производителей и транспорта ТЭР чёрный цвет означает, что объект работает в нормальном режиме с определённым запасом по производственным мощностям, красный – объект полностью загружен (никакого запаса по производственным мощностям нет), синий – объект не был задействован (по разным причинам, определяемым в ходе специального анализа).

3. Реализация методики определения критически важных объектов газотранспортной сети. Вследствие большого размера списка пересечений магистральных газопроводов многовариантные расчёты при решении задачи определения максимального потока минимальной стоимости для определения суммарного дефицита газа у потребителей при нарушении работы каждого из пересечений проводятся с помощью инструментария

DISCOMP [4], предназначенного для организации многовариантных численных экспериментов в разнородных РВС. DISCOMP имеет клиент-серверную архитектуру, в рамках которой клиентские приложения выполняют функции обработки отдельных вариантов данных расчетным модулем на доступных узлах РВС, а серверное приложение выполняет функции координации процесса распределенных вычислений и взаимодействия с ПВК "Нефть и газ России". Вычислительные модули DISCOMP представляют собой исполняемые программы. Удаленный запуск модулей, обмен данными между модулями через файлы и мониторинг узлов РВС реализуются средствами системной части DISCOMP.

Для организации процесса распределённых вычислений реализованы три базовых модуля (рис. 2):

- модуль генерации вариантов расчётных данных (m_1),
- модуль параллельной обработки вариантов данных (m_2),
- модуль анализа результатов (m_3).

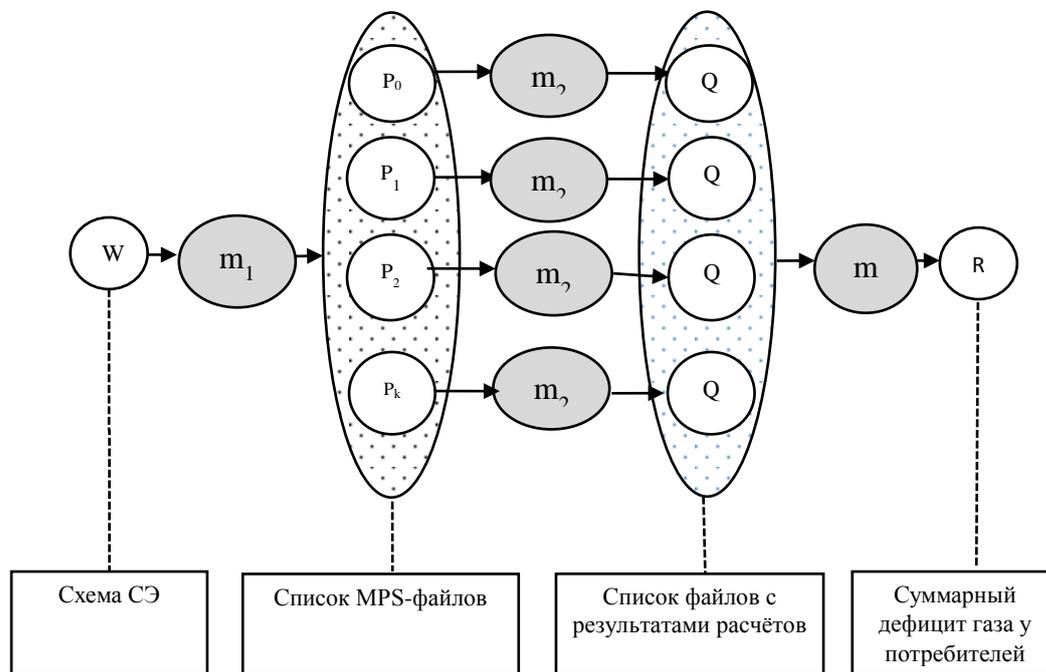


Рис. 2. Схема взаимодействия модулей в РВС

На вход модулю m_1 передаётся XML-файл W со схемой СЭ, заранее созданной специализированной ГИС. В процессе выполнения модуль m_1 формирует полный список пересечений магистральных газопроводов. Для каждого пересечения в схеме СЭ реализуется нарушение его работы, затем схема СЭ преобразуется в задачу нахождения максимального потока минимальной стоимости и результат записывается в текстовый файл формате MPS P_i .

Модуль m_2 принимает на вход один из вариантов данных $P_0..P_k$, производит расчёт задачи максимального потока минимальной стоимости и результаты расчёта записывает в выходной текстовый файл Q_i .

Модуль m_3 получает на вход все результаты $Q_0..Q_k$, полученные в результате работы модуля m_2 , распределяет полученные значения потока по дугам схемы СЭ и рассчитывает суммарный дефицит газа у потребителей.

Для взаимодействия инструментария DISCOMP с ПВК "Нефть и газ России" используется API интерфейс, реализованный на базе протокола XML-RPC.

Заключение. В статье описана методика выбора КВО газовой отрасли и её реализация на основе РВС, которая обеспечивается средствами ПВК «Нефть и газ России» и инструментария DISCOMP, предназначенного для организации многовариантных численных экспериментов в разнородных РВС.

Используя представленную выше методику обоснования перечня КВО, были проведены тестовые расчёты для выделения узловых КС и мест пересечения коридоров магистральных газопроводов, располагающихся между КС, отключение которых приведёт к суммарному потенциальному дефициту газа у потребителей в относительном объёме 5% и более.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воробьев С.В., Еделев А.В. Методика определения узких мест в работе больших трубопроводных систем // Программные продукты и системы. 2014. № 3. С. 174–177.
2. Еделев А.В., Сендеров С. М. Интегрированная инструментальная среда ПВК "Нефть и газ России" // Всероссийская конференция: «Информационные технологии в энергетике: современные подходы к анализу и обработке информации»: труды. Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2000. 176 с. С. 165–169.
3. Методика отнесения объектов государственной и негосударственной собственности к критически важным объектам для национальной безопасности Российской Федерации. Режим доступа <http://central.mchs.ru/upload/site4/filesbea08465669b520c2603f73058fe188a.pdf> (дата обращения 26.12.2015).
4. Сидоров И.А., Опарин Г.А., Феоктистов А.Г. Разработка и применение распределенных пакетов прикладных программ // Программные продукты и системы. 2010. № 2. С. 108–111.
5. Храмов А.В., Еникеева С.М., Хрусталева Н.М. и др. Программное и информационное обеспечение решения задач живучести Единой системы газоснабжения СССР // Методы и модели исследования живучести систем энергетики. Под ред. Руденко Ю.Н. Новосибирск: Наука. Сиб. Отд. 1990. С.86-91.
6. Энергетическая безопасность России: проблемы и пути решения // Н.И. Пяткова, В.И. Рабчук, С.М. Сендеров и др. Отв. ред. Н.И. Воропай, М.Б. Чельцов. Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2011. 198 с.
7. Ford L. R., Jr, Fulkerson D. R. Flows in Networks. Princeton, N. J.: Princeton University Press, 1962. 276 с. [Форд Л. Р., Фалкерсон Д. Р. Поток в сетях. М. Мир. 1963].
8. Mixed Integer Linear Programming (MILP) solver Ip_solve. Режим доступа <http://sourceforge.net/projects/lpsolve> (дата обращения 26.12.2015).
9. Voropai N.I., Senderov S.M., Edelev A.V. Detection of “Bottlenecks” and ways to overcome emergency situations in gas transportation networks on the example of the European gas pipeline network // Energy. 2012. Vol.42. №1. P.3-9. DOI: 10.1016/j.energy.2011.07.038

THE APPLICATION OF DISTRIBUTED COMPUTATIONS FOR IDENTIFICATION OF CRITICAL FACILITIES IN THE GAS TRANSPORT NETWORK OF RUSSIA

Alexey V. Edelev¹

PhD., Senior researcher, e-mail: flower@isem.irk.ru

Sergey M. Senderov¹

Dr., Dep. director, e-mail: ssm@isem.irk.ru

Ivan A. Sidorov²

PhD., Researcher, e-mail: ivan.sidorov@icc.ru

¹Melentiev Energy Systems Institute of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

130, Lermontov Str., 664033, Irkutsk, Russia,

²Matrosov Institute for System Dynamics and Control Theory of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,

134, Lermontov Str., Post Box 292, 664033, Irkutsk, Russia

Annotation. The article is devoted to solving the problems of formation of the list of critical facilities gas pipeline network in Russia to meet the requirements of energy security. The approach highlights critical energy systems based on their impact on the overall performance of the system. This is done by analyzing the level of negative consequences for consumers of the termination or violation of a particular object. The analysis is carried out using a distributed computational environment-you, which is formed by means of software and computing complex "Oil and Gas in Russia" and tools DISCOMP, intended for organization-of multivariate numerical experiments in heterogeneous distributed computational-enforcement environments.

Keywords: energy security, software, energy system, distributed computing environment

References

1. Vorobiev S.V., Edelev A.V. Metodika opredelenija uzkih mest v rabote bol'shih truboprovodnyh sistem [Methods of determining the bottlenecks of large pipeline systems]. Programmnye produkty i sistemy = Software & Systems. 2014. №. 3. Pp. 174–177 (in Russian).
2. Edelev A.V., Senderov S.M. Integrirovannaja instrumental'naja sreda PVK "Neft' i gaz Rossii" [An integrated software environment "Russia Oil and Gas"]. Vserossijskaja konferencija "Informacionnye tehnologii v jenergetike: sovremennye podhody k analizu i obrabotke informacii": trudy. =All-Russian conference "Information technology in the energy sector: modern approaches to the analysis and processing of information": Proceedings. 2000. Pp. 165–169 (in Russian).
3. Metodika otnesenija obektov gosudarstvennoj i negosudarstvennoj sobstvennosti k kriticheski vazhnym obektam dlja nacional'noj bezopasnosti Rossijskoj Federacii [Methods of assigning of critical state and non-state objects regards to the national security of the Russian Federation]. Available at:<http://central.mchs.ru/upload/site4/files/bea08465669b520c2603f73058fe188a.pdf>, accessed 26.12.2015.

4. Sidorov I.A., Oparin G.A., Feoktistov A.G. Razrabotka i primenenie raspredelennyh paketov prikladnyh programm [Development and application of distributed application packages]. Programmnye produkty i sistemy = Software & Systems. 2010. № 2. Pp. 108-111 (in Russian).
5. Hramov A.V., Yenikeeva S.M., Hrustaleva N.M. Programmnoe i informacionnoe obespechenie reshenija zadach zhivuchesti Edinoj sistemy gazosnabzhenija SSSR [Software and information support of survivability problems solving of Unified Gas Supply System of the USSR]. Metody i modeli issledovanija zhivuchesti sistem jenergetiki = Methods and models of research of vitality of energy systems. 1990. Pp. 86-91 (in Russian).
6. Pyatkova N. I., Rabchuk V. I., Senderov S. M. et al. Jenergeticheskaja bezopasnost' Rossii: problemy i puti reshenija [Energy security in Russia: problems and solutions]. Novosibirsk. Publishing house of SB RAS. 2011. 198 p. (in Russian).
7. L.R. Ford, D.R. Fulkerson. Flows in Networks. Princeton University Press. 1962. 276 p.
8. Mixed Integer Linear Programming (MILP) solver lp_solve. Available at: <http://sourceforge.net/projects/lpsolve>, accessed 26.12.2015.
9. Voropai N.I., Senderov S.M., Edelev A.V. Detection of “Bottlenecks” and ways to overcome emergency situations in gas transportation networks on the example of the European gas pipeline network. Energy. 2012. Vol.42. №1. Pp. 3-9. DOI: 10.1016/j.energy.2011.07.038