



УДК 330.45

## ЛОГИСТИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ В СИСТЕМЕ ГАЗОСНАБЖЕНИЯ РЕГИОНА

### LOGISTICS PRINCIPLES IN THE GAS SUPPLY SYSTEM OF THE REGION

**Пивнов Валентин Петрович**

старший преподаватель кафедры  
нефтепродуктообеспечения и газоснабжения,  
Российский государственный  
университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина  
pivnovalentin@rambler.ru

**Пивнова Марина Андреевна**

магистр,  
Российский государственный  
университет нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина  
rina91@bk.ru

**Аннотация.** Цель данного исследования – разработать программный комплекс, на основе модели системы газоснабжения региона, так чтобы потребители были обеспечены СПГ с минимальными затратами, в нужном объеме, в кратчайшие сроки.

**Ключевые слова:** газоснабжение, газораспределение, сжиженный природный газ, линейное программирование, транспортная задача.

**Pivnov Valentin Petrovich**

Senior lecturer, of the Department  
of Oil Products Supply and Gas Supply,  
National University  
of Oil and Gas «Gubkin University»  
pivnovalentin@rambler.ru

**Pivnova Marina Andreevna**

Master,  
National University  
of Oil and Gas «Gubkin University»  
rina91@bk.ru

**Annotation.** The purpose of this study is to develop a software package based on the model of the gas supply system of the region, so that consumers are provided with LNG at minimal cost, in the right amount, in the shortest possible time.

**Keywords:** gas supply, gas distribution, liquefied natural gas, linear programming, transport problem.

## Введение

Внутренний рынок системы газоснабжения населенных пунктов и промышленных предприятий по-прежнему сохраняет свою актуальность. Данный сектор экономики РФ имеет серьезный потенциал для своего роста и развития. В отдельных регионах РФ отсутствует как таковая система газоснабжения. В связи с ростом населения в центральных регионах РФ возникает необходимость развития и модернизации уже существующей системы газоснабжения. На основании выше изложенного встает задача разработки программного комплекса, эффективно решающего вопрос распределения СПГ в регионе.

### Построение производственно-сбытовой цепи на основе принципов логистики углеводородов

Для проведения анализа перспектив развития системы газоснабжения Российской Федерации, а также апробации принципов логистики углеводородов, на первоначальном этапе рассмотрен отдельно взятый регион.

Обеспечить потребителей природным газом можно различными способами. Выделяются следующие пути газоснабжения:

- прокладка газопровода-отвода к потребителю с последующим строительством газораспределительной станции и газовой сети;
- применение переносных баллонов или газобаллонных установок со сжатым природным газом;

- доставка в населенные пункты природного газа в виде сжиженной пропан-бутановой смеси;
- автономная газификация потребителей сжиженным природным газом (СПГ).

Прокладка газопроводов-отводов к потребителям влечет за собой высокие капитальные затраты. Строительство газопроводов-отводов и ГРС является продолжительным процессом, а в масштабах целого региона может занять долгие годы. Недостатком газопроводов-отводов является «жесткость» маршрута доставки. Газификация с помощью переносных баллонов или газобаллонных установок в масштабе целого региона также является малоэффективным в силу высокой вероятности возникновения несчастных случаев и чрезвычайных происшествий. Получение сжиженных углеводородных газов является затратным производством. При выделении пропан-бутановой смеси в объеме достаточном для газификации региона, необходим колоссальный объем сырьевого природного газа.



Задачу газоснабжения там, где прокладка газопроводов-отводов не целесообразна, можно решить путем использования автономных систем хранения и транспорта СПГ. Именно развитие автономных систем газоснабжения основывающихся на СПГ позволяет снизить стоимость обеспечения потребителей природным газом в регионе. В ряде источников [1, 2] приведены расчеты, показывающие экономическую целесообразность доставки потребителям СПГ по отношению к вариантам применения трубопроводного транспорта.

В работе [1] расчеты показали, что для подавляющего большинства потребителей Амурской области, целесообразным способом газификации является применение СПГ, рисунок 1.



Рисунок 1 – Способы газификации населенных пунктов Амурской области

В рассматриваемой производственно-сбытовой цепи принято первоначальное условие, что газификация будет происходить, начиная с наиболее крупных городов, при этом местами производства СПГ будут ГРС близ крупных городов. Такое расположение мест производства СПГ является оптимальным с точки зрения удаленности от мест его потребления.

Исходными данными для решения задачи газоснабжения региона являются: объемы производства и потребления СПГ в регионе, удаленность потребителей от мест производства, тарифы на транспорт СПГ и непосредственно на сам СПГ. При создании системы газоснабжения региона, при рассмотрении статической модели, необходимо решить следующие задачи: определение периода пополнения запасов СПГ, выбор способа решения транспортной задачи.

Выбирая систему хранения СПГ необходимо учитывать не только технологические аспекты вопроса, но и законы логистики. Обеспечение потребителей СПГ базируется на определении количества потребляемого и хранимого топлива. Для того чтобы правильно сформировать систему обеспечения СПГ необходимо было определить подходящие резервуары:

- Резервуары для минимального, еженедельного оборота СПГ;
- Резервуары, соответствующие ежемесячному обороту СПГ;
- Ежегодное пополнение запасов СПГ, объем резервуаров максимальный.

Для определения оптимального оборота СПГ, был подобран ряд критериев. Критерии выбора резервуаров для хранения СПГ и их значения представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения критериев выбора оптимального запаса СПГ

№ п/п	Критерии	Неделя	Месяц	Год
1	Затраты на строительство хранилищ СПГ, млн руб.	948	4108	49291
2	Затраты на эксплуатацию и обслуживание хранилищ СПГ, млн руб./год	142	616	7394
3	Затраты на доставку СПГ, млн руб./год	84	67	64
4	Заводская готовность резервуаров, баллы	9	8	2
5	Потери СПГ от испарения, тонн/год	96	79	44
6	Хранимый страховой запас СПГ, тонн	336164	1456710	17480526
7	Площадь необходимого землеотвода, м <sup>2</sup>	3477	15068	180822

Оценка данных критериев проведена методом базовых шкал. В данной работе была применена 10-ти бальная шкала, таблица 2.



**Таблица 2** – Критерии выбора оптимального запаса СПГ в баллах

№ п/п	Критерии	Неделя	Месяц	Год
1	Затраты на строительство хранилищ СПГ	10	9	1
2	Затраты на эксплуатацию и обслуживание хранилищ СПГ	10	9	1
3	Затраты на доставку СПГ	2	6	7
4	Заводская готовность резервуаров	9	8	2
5	Потери СПГ от испарения	2	4	9
6	Хранимый страховой запас СПГ	10	9	2
7	Площадь необходимого землеотвода	10	9	2

Выбор оптимального запаса проведен по правилу гарантированных достоинств и недостатков при сравнении вариантов попарно. По итогам расчетов оптимальным определен недельный запас СПГ, следовательно, расчет объемов резервуаров проведен с учетом этого факта.

При окончательном расчете объемов резервуаров учитывалась не только недельная норма потребления СПГ, но и коэффициенты страхового запаса СПГ и заполнения резервуаров.

Для построения системы распределения СПГ потребителям необходимо решить транспортную задачу. Критерием оптимальности плана перевозок является минимум затрат на транспортировку:

$$L(x) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min, \tag{1}$$

где  $L(x)$  – общие затраты, с учетом тарифов на транспорт и стоимости СПГ;  $c_{ij}$  – стоимость доставки СПГ от  $i$ -ой ГРС к  $j$ -му поселку;  $x_{ij}$  – объем СПГ, доставляемой с  $i$ -ой ГРС к  $j$ -му поселку.

Кроме того, важным условием является поддержание уровня страхового запаса СПГ:

$$x_{ij} \geq \min. \tag{2}$$

Существует ряд методов, позволяющих решить транспортную задачу:

- Метод потенциалов;
- Симплекс-метод;
- Решение средствами MS Excel.

Для решения транспортной задачи методом потенциалов, необходимо построение опорного плана. В данной работе применялись метод северо-западного угла и метод наименьшей стоимости. Результаты решения ТЗ распределения СПГ в Амурской области приведены в таблице 3.

**Таблица 3** – Результаты решения транспортной задачи

№ п/п	Метод	Стоимость транспортировки, рублей в неделю
1	Метод потенциалов с построение опорного плана методом северо-западного угла	1 646 138,09
2	Метод потенциалов с построение опорного плана методом наименьшей стоимости	1 646 138,09
3	Симплекс-метод	1 646 138,09
4	Решение средствами MS Excel	2 436 942,31

Выбор оптимального метода решения проведен с применением метода базовых шкал и правила гарантированных достоинств и недостатков по критериям. Здесь учитываются не только результаты решения задачи, но и критерии позволяющие решать задачу быстро и без ошибок. Критерии сравнения методов решения транспортной задачи приведены в таблице 4.

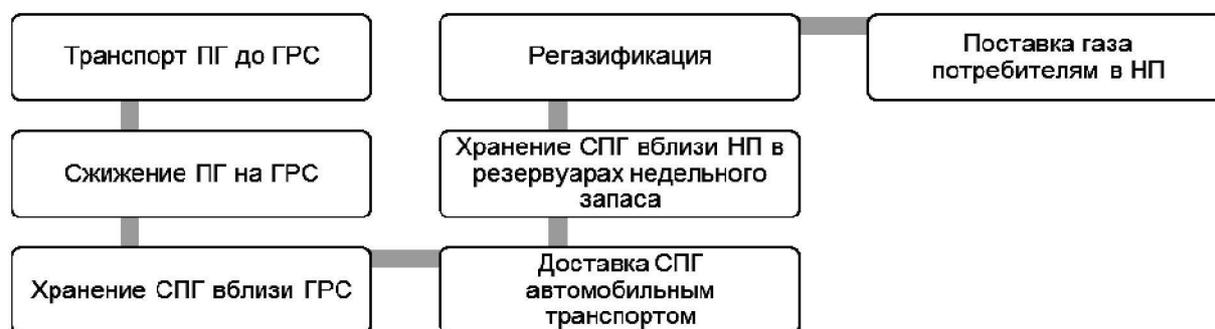
В результате подсчета достоинств каждого метода решения транспортной задачи по правилу гарантированных достоинств и недостатков оптимальным методом решения является симплекс-метод. Такой результат определен возможностью использования метода при составлении программного комплекса, позволяющего оперативно и безошибочно провести расчеты.



**Таблица 4** – Критерии выбора оптимального метода решения транспортной задачи

№ п/п	Критерии	Метод потенциалов (метод северо-западного угла)	Метод потенциалов (метод наименьшей стоимости)	Симплекс-метод	Excel
1	Стоимость плана перевозок	9	9	9	2
2	Оптимальность распределения грузопотока	7	7	10	2
3	Необходимость изучения математического аппарата	8	8	7	10
4	Оперативность решения транспортной задачи	4	5	6	10
5	Наличие качественного программного обеспечения для автоматизированного расчета	6	6	9	9

Результатом первого этапа данного исследования стали систематизированные исходные данные, обоснование эффективности симплекс-метода, а также производственно-сбытовая цепь распределения СПГ в регионе, рисунок 2.



**Рисунок 2** – Производственно-сбытовая цепь распределения СПГ

**Разработка программного комплекса решения задачи линейного программирования в MS Excel**

Для создания эффективной системы распределения СПГ необходимо решать транспортную задачу в динамике, а для этого необходимо разработать программный комплекс. Разработка программного комплекса распределения СПГ, а также отладка его работы проводилась на примере отдельного региона Российской Федерации.

На первоначальном этапе разработки программного комплекса была создана электронная база, куда вошли основные исходные данные, такие как количество производителей и потребителей СПГ, объемы производства и потребления СПГ в регионе, удаленность потребителей от мест производства СПГ, тарифы на транспорт СПГ и непосредственно на сам СПГ. При необходимости существующая база данных может быть оперативно изменена. Возможно изменение количества производителей или потребителей СПГ. При этом отсутствует необходимость внесения изменений непосредственно в алгоритм решения транспортной задачи.

Разработанный программный комплекс, позволяет максимально автоматизировать процесс решения транспортной задачи. Программный комплекс производит расчеты в среде MS Excel, при этом решение производится с помощью выбранного ранее симплекс-метода, реализованного в среде MS Excel. Графический интерфейс комплекса реализован с помощью VisualBasic, рисунок 3. Данная процедура повышает удобство работы по распределению потоков СПГ, снижает вероятность ошибки при внесении исходных данных и производстве расчетов.

Важно отметить, что в реальной жизни исходные данные меняются постоянно, и затруднительно использовать на практике модель с постоянными данными и с фиксированными направлениями распределения потоков СПГ между производителями и потребителями. На распределение потоков серьезное влияние может оказать сезонная неравномерность газопотребления, динамическое изменение количества потребителей СПГ, невозможность использования отдельного маршрута доставки СПГ.

Особенностью программы является возможность решать транспортные задачи как открытого, так и закрытого типов. Программный комплекс может самостоятельно проверять транспортные задачи на сбалансированность.

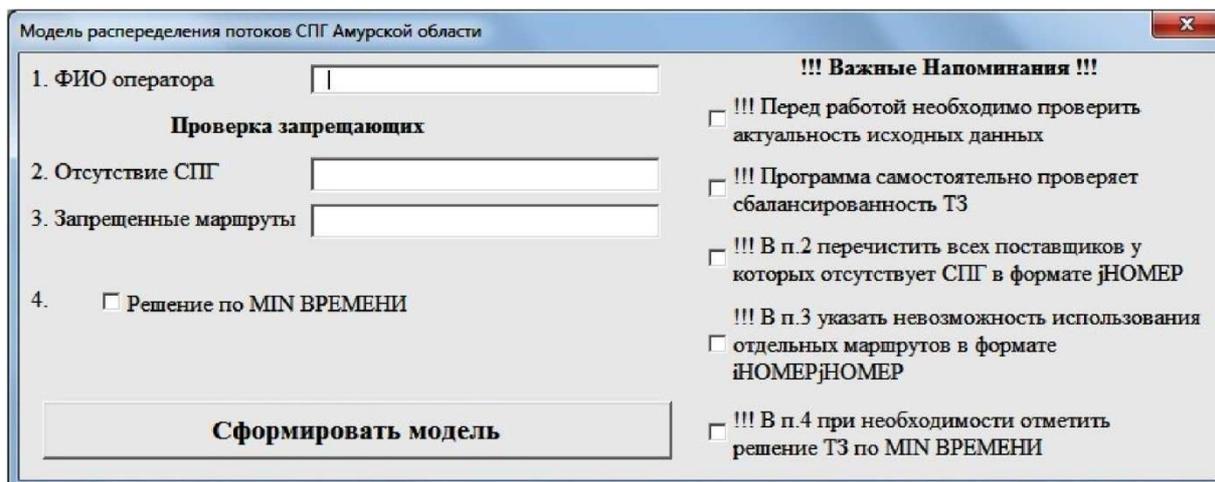


Рисунок 3 – Графический интерфейс программного комплекса

В программе реализована функция решения ТЗ с учетом, запрещающих условий, например, невозможность использования отдельного маршрута или отсутствие СПГ у одного из производителей. При подготовке к работе программа выводит на экран диалоговое окно с сообщением «проверка запрещающих условий», и предлагает в случае отсутствия СПГ у одного из производителей указать объем его производства равным нулю путем ввода номера производителя. Если в рамках реализации расчетов необходимо указать невозможность использования отдельного маршрута доставки СПГ, то в диалоговом окне вводится с помощью адресасначала номер строки цифрой, затем номера столбца цифрой такой маршрут.

На практике существует необходимость распределить материальные потоки так, чтобы время доставки сводилось к минимуму. Такая ситуация может наблюдаться, во время резкого похолодания и увеличения потребления объемов СПГ для отопления помещений. В таком случае в диалоговом окне ставится галочка в графе «решение ТЗ по min времени». В качестве исходных данных программа использует базу данных расстояний между производителями и потребителями, но вместо тарифов на транспорт СПГ используется удельные величины равные среднему времени на доставку углеводородов на расстояние в один километр. Данная величина также хранится в исходной базе данных. В итоге программа выдает решение в виде модели распределения потоков с учетом минимизации общего времени на доставку СПГ, а также с указанием общего времени, требуемого для доставки СПГ потребителям.

По окончании вычислений программный комплекс выводит отчет в отдельной вкладке. При необходимости программный комплекс позволяет построить наглядную модель распределения потоков СПГ в регионе в виде графов. Пример такой модели приведен на рисунке 4.

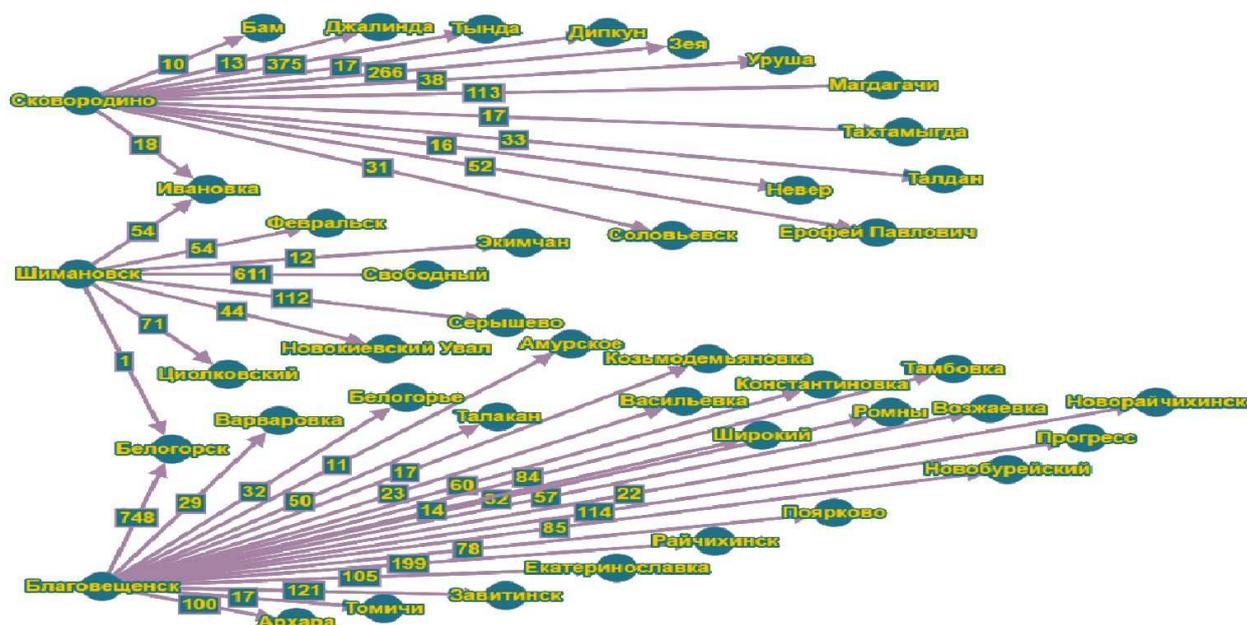


Рисунок 4 – Пример распределение потоков СПГ в Амурской области



На основе оценки различных факторов, влияющих на распределение СПГ, а также с учетом различных сопутствующих требований, был разработан программный комплекс, реализованный в MS Excel, который может быть использован для построения системы распределения потоков СПГ, позволяющий эффективно и в кратчайшие сроки решить вопрос газоснабжения любого региона.

### **Заключение**

Бережное и умелое использование энергетических ресурсов способствует эффективному и динамическому развитию народного хозяйства Российской Федерации.

На основе решения транспортной задачи оптимальным способом, а также с учетом выбора резервуаров для хранения СПГ была построена система обеспечения потребителей Российской Федерации СПГ. Итогом проведения анализа перспектив газоснабжения региона СПГ на основе решения задач линейного программирования является программный комплекс, реализованный в MS Excel, позволяющий оперативно решать задачу газоснабжения региона, составляя эффективный план поставок СПГ.

### **Литература:**

1. Бологан П.С. Решение транспортной задачи снабжения Амурской области сжиженным природным газом: диссертация магистра нефтегазового дела / РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина. – М., 2016.
2. Бологан П.С. [и др.]. Модель газоснабжения Амурской области СПГ : Тезисы докладов 71-ой международной молодежной научной конференции «Нефть и газ – 2017». – М., 18–20 апреля 2017. – Т. 2. – С. 21.

### **References:**

1. Bologan P.S. Solution of the transport problem of supply of the Amur region with liquefied natural gas: master's thesis in oil and gas business / Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University). – M., 2016.
2. Bologan P.S. [et al.]. Model gas supply in Amur region LNG : 71st International youth scientific conference «Oil and gas – 2017». – M., 18–20 April 2017. – Part 20. – P. 21.