

Всесоюзный научно-исследовательский
институт экономики, организации про-
изводства и технико-экономической
информации в газовой промышленности
(ВНИИЭГазпром)

Ю.И. МАКСИМОВ

МЕТОДЫ РАСЧЁТА НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИ-
МОВ РАБОТЫ И ОПТИМИЗАЦИИ ПАРАМЕТРОВ
ГАЗОСНАБЖАЮЩИХ СИСТЕМ.

Диссертация на соискание
учёной степени доктора
технических наук

Москва 1969г.

ВВЕДЕНИЕ.

Газовая промышленность Советского Союза развивается все ускоряющимися^{ся} темпами. Протяжённость магистральных газопроводов к 1970г. составила более 68 тыс. км. Вся сеть магистральных газопроводов в СССР кольцуется в мощные единые системы, обеспечивающие надёжность газоснабжения важнейших экономических районов страны.

В последние годы были открыты уникальные газовые месторождения на севере Тюменской области. Были открыты также крупные газовые месторождения в различных районах страны - в Средней Азии, на Северном Кавказе, в Коми АССР и в ряде других районов. Открытие этих месторождений создало надёжную сырьевую базу для дальнейшего ускоренного развития газовой промышленности.

Развитие газовой промышленности в последнее десятилетие характеризовалось бурными темпами концентрации и централизации производства. Концентрация производства в газовой промышленности явилась одним из важнейших способов улучшения технико-экономических показателей объектов газоснабжающих систем. Централизация газоснабжения привела к созданию первого этапа единой газоснабжающей системы (ЕГС) страны - ЕГС Европейской части Союза с подключением к ней газоснабжающих систем Урала и Средней Азии.

Одной из актуальнейших проблем создания ЕГС страны является задача разработки и внедрения эффективных методов расчёта и оптимизации режимов работы и параметров различных функциональных и территориальных подсистем ЕГС.

Существенной особенностью процесса дальнего транспорта газа является его нестационарность, которая обуславливается, в основном, неравномерностью газопотребления, а также изменением режимов работы системы трубопроводы-компрессорные станции. Необходимость учёта нестационарности режимов транспорта газа по магистральным газопроводам, обуславливаемой как сезонной неравномерностью потребления

газа, так и неравномерным потреблением газа в различные часы суток, отмечается в многочисленных исследованиях и публикациях. Проектирование же магистральных газопроводов, обычно, производится на основе предположения о стационарности режимов работы системы трубопроводы-компрессорные станции. В последнее время при проектировании конечных участков магистральных газопроводов и участков, к которым присоединены крупные потребители газа, учитываются условия нестационарности процесса газопередачи.

При равномерном газопотреблении и неизменности режимов работы компрессорных станций транспорт газа осуществлялся бы при стационарном режиме. При условии равенства давления на выходе каждой компрессорной станции максимально допустимому, этот режим был бы оптимальным по производительности.

Нестационарные эксплуатационные режимы течения газа можно рассматривать как сумму какого-либо базисного режима и отклонения от этого режима (или возмущения). Разбиение произвольного нестационарного режима газопередачи на эти две составляющие позволяет ввести понятие меры нестационарности режимов транспорта газа.

В силу того, что магистральные газопроводы и их системы эксплуатируются, как правило, при нестационарных режимах, этот существенный факт должен учитываться и при проектировании газопроводов. Основные параметры магистрального газопровода, определённые из условий стационарности течения газа, должны затем уточняться и оптимизироваться на основе расчётов нестационарных режимов транспорта газа.

Расчёты процессов нестационарной газопередачи могут давать ответы на многочисленные инженерные и теоретические задачи, возникающие в практике эксплуатации магистральных газопроводов. При этом необходимо отметить, что если при условии стационарности течения газа возможно производить расчёт газопровода независимо по участкам (определяются параметры первого участка и первой компрессорной

станции и т.д.), то при расчёте нестационарных режимов работы магистрального газопровода необходимо рассчитать совместную работу сложного гидродинамического комплекса, состоящего из последовательной цепочки элементов: "линейный участок-компрессорная станция".

Развитие ускоренными темпами сети магистральных газопроводов и её кольцевание в единую систему делают задачу разработки эффективных методов расчёта нестационарных режимов транспорта газа весьма актуальной. Причём разрабатываемые численные методы должны быть такими, чтобы с их помощью было возможно проводить оперативные расчёты по прогнозированию работы магистральных газопроводов и их систем. Кроме того, оперативные расчёты серий нестационарных режимов помогут в практике диспетчерского управления работой газопроводов выбирать оптимальные режимы газопередачи. Необходимо отметить, что эти расчёты не могут производиться независимо по участкам, т.е. при этом фактически не учитывалась бы работа компрессорных станций при нестационарных режимах течения газа и вместо расчётов режимов работы магистрального газопровода в целом проводились бы расчёты течения газа по разрозненным линейным участкам.

Магистральные газопроводы являются металлоёмкими и дорогостоящими сооружениями. Поэтому дальнейшее развитие и усовершенствование методов решения различных оптимальных задач проектирования магистральных газопроводов также является актуальным. Задача оптимизации параметров проектируемого или реконструируемого магистрального газопровода в общей постановке может быть сформулирована следующим образом: на основе предположения о стационарности течения газа выбрать параметры газопровода таким образом, чтобы они обеспечивали минимум затрат при заданной производительности; или при заданных затратах выбрать параметры лупинга таким образом, чтобы производительность газопровода возрасла бы максимально. Как отмечалось выше, выбранные таким образом параметры газопровода должны уточ-

няться на основании расчётов нестационарных режимов газопередачи, проводимых для обеспечения надёжности газоснабжения.

Третий класс задач транспорта газа, решение которых представляется актуальным и которые рассматриваются в настоящей работе, - это задачи расчёта течения газа по сложным газосборным сетям и оптимизации параметров проектируемых и реконструируемых сетей. Расчёт работы газосборных сетей на больших месторождениях газа настолько сложен, что рассматриваются, естественно, только стационарные процессы. Переходные режимы в газосборных сетях не рассчитываются. Скважины и газосборная сеть на промыслах представляют вместе с пластом сложную саморегулирующуюся систему. Поэтому ставится и решается задача о расчёте единого саморегулирующегося комплекса "пласт-скважины-газосборная сеть". Расчёты работы комплекса "пласт-скважины-газосборная сеть" позволяют получить ответы на такие вопросы, как например, каким должно поддерживаться давление на выходе газосборной сети для отбора заданного количества газа из месторождения или какое количество газа из месторождения будет получено при поддержании заданного давления на выходе из газосборной сети. Проведение подобных расчётов необходимо, например, при решении вопроса о времени ввода головных компрессорных станций и о характеристиках их работы.

Решение задач оптимизации параметров газосборной сети позволяет спроектировать такую сеть, которая позволит отбирать заданное количество газа при минимальных затратах.

Вопросы изучения неустановившегося течения флюида в трубах, имеющие большое прикладное значение, давно привлекают внимание различных исследователей. Широкую известность приобрели работы И.С. Грошеки [26], Н.Е. Жуковского [32], Б. Римана [83].

В настоящее время ^{многие} инженерные задачи расчёта систем магист-

радных газопроводов, а также сетей (газосборных сетей на промыслах или городских распределительных сетей) даже ^в предположении стационарности течения газа настолько усложнились, что получение конкретных численных решений возможно лишь при условии применения электронных вычислительных машин. Естественно, что задачи расчёта нестационарного течения газа по системе магистральных газопроводов являются ещё более сложными.

Исходными для изучения процессов нестационарной газопередачи являются нелинейные дифференциальные уравнения в частных производных параболического типа, описывающие нестационарное течение газа по линейному участку магистрального газопровода. Даже при некоторых упрощениях (предположение об изотермичности течения газа, пренебрежение некоторыми малыми членами) решение этих уравнений является весьма трудоёмкой и сложной задачей. Многочисленные ^{в основном,} автомоделльные решения, полученные различными авторами, не имеют широкого прикладного значения. Они могут быть использованы, ^{например,} ~~как~~ для оценки точности решений, полученных различными приближёнными методами.

Изучение процессов движения флюида в трубах и, в частности, исследованию нестационарных режимов дальнего транспорта газа различными аналитическими методами посвящены ^{А. В. Александрова,} работы Г. А. Бабаджаняна, Д. Б. Баясанова, Н. И. Белокопя, В. И. Городецкого, З. Т. Галиуллина, Ш. Долешала, А. М. Левина, Л. А. Мовсисяна, Х. Паскаля, М. Рибо, О. Л. Синельниковой, Ф. Г. Темпеля, Ф. А. Требина, И. Е. Ходановича, И. А. Чарного, В. И. Черникина и др.

Весьма обширной является библиография по решению некоторых задач нестационарного течения газа путём приближённого ^{интегри-}рования уравнений нестационарной газопередачи. При этом следует иметь в виду, что несмотря на все значения приближённых методов,

целый ряд важных инженерных задач не могут быть решены с их помощью. Оказываясь эффективными для решения какого-то круга задач, эти методы неприемлемы для решения других задач транспорта газа. Даже в том случае, когда какими-либо способами нелинейные уравнения нестационарной газопередачи сводятся к хорошо изученным уравнениям теплопроводности, то получившиеся окончательные расчётные формулы настолько громоздки, что не могут быть использованы при оперативных диспетчерских расчётах.

Известные успехи достигнуты в вопросах моделирования процессов нестационарной газопередачи, которым посвящены работы А. Бланка [130], [131], М.А. Жидковой [30], [31], А. Ренодона [82], Ф.Г. Темпеля [88], [92], [93], [96], И.Б. Ходановича [111] и другие.

Нисколько не умаляя результатов, полученных методами электро моделирования, стоит упомянуть, что для решения задачи расчёта нестационарного течения газа по магистральному газопроводу в целом (работа линейных участков газопровода рассматривается не поочерёдно, а как работа единого взаимосвязанного комплекса, состоящего из компрессорных станций и линейных участков) возможности их ограничены. Необходимо отметить эффективность численных методов для расчётов режимов нестационарной газопередачи, особенно при условии использования электронных вычислительных машин. Электронные вычислительные машины находят всё большее применение в трубопроводном транспорте газа: от управления работой трубопроводов [133], [136], до предотвращения коррозии [139].

Расчёту на электронных вычислительных машинах нестационарного течения газа по одному участку магистрального газопровода, а также по двум участкам при условии постоянной степени сжатия, даваемой компрессорной станцией, или по простейшему разветвлению посвящены работы [1], [42], [43], [44], [47], [48], [49], [50], [52].

[54], [56], [68], [72], [73].

Решения уравнений в частных производных параболического типа посвящены многочисленным работам советских и зарубежных авторов [33], [35], [66], [67], [84], [85]. Необходимо отметить, что если для линейных уравнений получены общие результаты, то для решения нелинейных уравнений методом конечных разностей получены весьма разрозненные результаты, и теории их решения далеко до завершенности.

В настоящей работе излагаются различные конечно-разностные методы для расчёта нестационарного течения газа по магистральному газопроводу в целом. Разработка на основании их программы для серийных электронных вычислительных машин позволяет решать широкий круг теоретических и инженерных задач, возникающих в практике проектирования и эксплуатации магистральных газопроводов. Предлагаемые конечно-разностные методы позволяют при проведении расчётов учитывать такие факторы, как расходы газа на собственные нужды компрессорных станций, наличие попутных отборов газа и подачи газа из подземных хранилищ, проложение дуплингов и труб различного диаметра на линейных участках магистральных газопроводов [57], [58], [59], [60].

Для характеристики режимов транспорта газа введено одно из возможных понятий меры нестационарности. Учёт при выборе начальных условий для исключения его влияния на выбор вариантов проектируемых магистральных газопроводов [55]. Показана принципиальная возможность использования разработанных методов для решения такой обратной задачи транспорта газа, как определение фактической величины полного коэффициента гидравлического сопротивления линейного участка магистрального газопровода по параметрам нестационарного процесса газопередачи.

В настоящей работе ставится и решается ^{реш} ~~определяется~~ оптимальных задачи проектирования магистральных газопроводов и систем на основе предположения о стационарности течения газа. Выбору оптимальных параметров трубопроводов посвящены работы В.Д. Белоусова [11], З.Т. Галиуллина [17], [21], Б.И. Гладдинова [22], В.И. Городецкого [23], С.А. Гросса [27], Р.Х. Гумерова [28], К.Криднера [137], А.А. Куликова [38], Р.Я. Печеникова [80], А.С. Смирнова [88], П.А. Теснера [97], А.И. Ткаченко [99], Р.Л. Хонтингтона [118], В.И. Черникина [127], В.П. Яблонской [129] и др. При этом традиционным является рассмотрение диаметра трубопровода как непрерывной переменной.

В настоящей работе определяются оптимальные параметры линейного участка магистрального газопровода при рассмотрении диаметра как дискретной переменной. Показывается, что оптимальный параметр лупинга должен определяться только по диаметру основной трубы, и даются формулы для его определения. Ставится задача об оптимальном развитии системы магистральных газопроводов [57].

Большой теоретический и практический интерес представляет решение прямых и обратных задач расчёта газовых сетей, которым посвящены работы А.А. Брискмана [12], [13], З.Т. Галиуллина [18], Б.И. Красовского [37], А.М. Лобкова [40], В.А. Смирнова [89], Я.М. Торчинского [100], [101], [102], [103], Т. Хагеса [134], И.В. Ходановича [116] и др.

В настоящей работе предлагаются новые методы как решения прямых задач расчёта газовых сетей (определение параметров стационарного потока при известных параметрах сети), так и решения обратных задач расчёта сложных газовых сетей (определение неизвестных параметров сети из условия оптимизации какой-либо целе-

✓ ~

вой функции). Предложены методы определения параметров сети при рассмотрении диаметров участков как непрерывной (первый метод), так и дискретной (второй метод) переменных. Первый метод [46] даёт возможность получать только оптимальные значения диаметров участков сети при заданной её конфигурации и может быть реализован на электронных вычислительных машинах с большой оперативной памятью и высоким быстродействием. Второй метод позволяет оптимизировать конфигурацию сети с учётом ограничений, диктуемых географической средой и может быть реализован на серийных вычислительных машинах. Излагаемые в работе [44] методы расчёта газосборных сетей развиты и усовершенствованы для расчёта работы сети и скважин как единого взаимосвязанного комплекса. Для решения полученных уравнений предложен итерационный метод повышенной сходимости.

Таким образом, настоящая работа является изложением комплекса методов расчёта работы магистрального газопровода в целом, а также методов решения некоторых задач определения оптимальных параметров магистральных газопроводов и газосборных сетей и скважин как единого саморегулирующего^{ся} комплекса. Предлагаемые методы являются одним из этапов разработки математического обеспечения функционирования автоматизированных систем управления газоснабжающими системами. В то же время они могут использоваться как при проектировании, так и при эксплуатации элементов газоснабжающих систем.