РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ НЕФТИ И ГАЗА имени И.М. ГУБКИНА

На правах рукописи

*oi^fiiooyoeo*

**НЕКЛЯЕВ АЛЕКСЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ**

**ТЕОРИЯ И РАСЧЕТ ИСТЕЧЕНИЯ ГАЗА ИЗ ГАЗОПРОВОДА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ В ШТАТНЫХ И АВАРИЙНЫХ**

**СИТУАЦИЯХ**

Специальность 25.00.19. Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов,

баз и хранилищ

Научный руководитель: д.т.н., проф. М.В. Лурье

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук



Москва - 2010

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ - 7 -

1 ОБЗОР И КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЙ

НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ ГАЗА В ГАЗОПРОВОДЕ - 13 -

1. Обзор научных исследований в области нестационарного

течения газа в газопроводе -13 -

1. Начало изучения неустановившегося изотермического течения идеального газа в газопроводе -13 -
2. Критический анализ методов исследования нестационарного

течения газа в газопроводах - 21 -

1. Совершенствование методов линеаризации. Использование обобщенных функций для изучения течения газа в сложных газопроводах - 24 -
2. Исследование неустановившегося изотермического течения идеального газа средствами аналогового и квазианалогового моделирования - 29 -
3. Применение численных методов к изучению нестационарного течения идеального газа в газопроводах - 33 -
4. Исследование неустановившегося течения газа в газопроводе, вызванного аварийными режимами работы - 36 -
5. Неу становившееся неизотермическое течение газа в

газопроводе с учетом реальных свойств газа - 38 -

1. Основные выводы о результатах в области исследований

неустановившихся процессов в газопроводах - 44 -

1. Цель и задачи диссертационной работы - 47 - 2 ТЕОРИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ И НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ

ПРОЦЕССОВ В ГАЗОПРОВОДАХ - 50 -

1. Замкнутая система дифференциальных уравнений теории неустановившегося неизотермического течения газа в

газопроводе - 50 -

1. Уравнения состояния природного газа - 53 -
2. Исследование полной системы уравнений, описывающей неустановившееся неизотермическое течение газа в

газопроводах - 55 -

1. Изучение неустановившегося и неизотермического течения газа

методом характеристик - 60 -

1. Краевые условия при изучении неустановившегося

неизотермического течения газа методом характеристик - 65 -

1. Условия совместности при изучении неустановившегося

неизотермического течения газа методом характеристик *-66­*

3 СРАВНЕНИЕ ТОЧНОГО И ПРИБЛИЖЕННОГО МЕТОДОВ

РАСЧЕТА НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕЧЕНИЯ ГАЗА В ГАЗОПРОВОДЕ - 70 -

1. Аналитическое решение задачи о заполнении газопровода - 70 -
2. Решение задачи о заполнении газопровода численным методом - 74 -
3. Сравнение результатов решения задачи аналитическим и

численным методами - 79 -

1. Задача о включении попутного отбора, аналитическое решение -86­
2. Решение задачи о включении попутного отбора численным

методом - 90 -

1. Сравнение результатов решения задачи о включении попутного отбора аналитическим и численным методами

-93­-97­-99­-99­-104 -

-105­-109­-119­- 123 -

-125­

1. Общие выводы и рекомендации относительно области применения приближенного и точного методов расчета нестационарного течения газа
2. ИСТЕЧЕНИЕ ГАЗА ИЗ ГАЗОПРОВОДА ЧЕРЕЗ МАЛОЕ ОТВЕРСТИЕ В СТЕНКЕ ТРУБЫ
   1. Численное решение задачи об истечении газа в атмосферу через малое отверстие в стенке газопровода
   2. Компьютерная программа «Свеча». Проверка устойчивости численного решения, сравнение результатов вычислений с экспериментальными данными
   3. Гидравлическое и термодинамическое исследования процесса истечения газа из газопровода через малое отверстие в стенке трубы
   4. Определение времени полного опорожнения газопровода через свечу
   5. Сравнение точного времени полного опорожнения газопровода с приближенными решениями и приведенными в нормативной документации рекомендациями
   6. Основные выводы по результатам исследования процесса истечения газа через малое отверстие в стенке трубопровода
3. ИСТЕЧЕНИЕ ГАЗА ИЗ ГАЗОПРОВОДА ПОЛНЫМ СЕЧЕНИЕМ В ОБЛАСТЬ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ
   1. Численное решение задачи об истечении газа из газопровода полным сечением в область низкого давления
   2. Гидравлические и термодинамические исследования

-129 -

-139­-143­-149­-151 -

* 153 -
* 155 -

-155 - -156 -

* 158­-161­- 162 -
* 163 -

нестационарного течения газа, возникающего при гильотинном разрыве

1. Эффект подсасывания атмосферного воздуха при гильотинном разрыве газопровода
2. Истечение газа из газопровода через подвижное сечение
3. Изменение кольцевых разрушающих напряжений вблизи вершины трещины при разных скоростях ее развития
4. Основные выводы по результатам исследования истечения газа из газопровода в область пониженного давления полным сечением

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А. Эмпирическая номограмма для определения коэффициента сжимаемости **z(p, т)**

Приложение Б. Вычисление главного определителя полной системы уравнений газовой динамики

Приложение В. Вычисление дополнительного определителя полной системы уравнений газовой динамики

Приложение Г. Алгоритм работы главного вычислительного модуля программы «Заполнение газопровода»

Приложение Д. Главное окно программы «Заполнение газопровода»

Приложение Е. Окно визуализации программы «Заполнение газопровода»

Приложение Ж. Окно вывода дополнительных графиков программы «Заполнение газопровода»

**-164** - -**165**­**-166** - - **167**­- **168**­-**169**­-**170**-

Приложение И. Алгоритм работы главного вычислительного модуля программы «Включение отбора»

Приложение К. Алгоритм работы главного вычислительного модуля программы «Свеча»

Приложение JI. Номограмма для определения времени полного опорожнения газопровода через свечу заданного диаметра

Приложение М. Уточненная номограмма для определения времени полного опорожнения газопровода через свечу заданного диаметра

Приложение Н. Алгоритм работы главного вычислительного модуля программы «Разрыв»

ЛИТЕРАТУРА

ВВЕДЕНИЕ

Диссертация посвящена развитию теории неустановившегося неизо­термического течения газа в газопроводах, а также исследованию практиче­ских вопросов эксплуатации газотранспортной системы. Отличительная осо­бенность работы состоит в том, что рассматриваемые процессы, характери­зуются высокими скоростями движения газового потока, которые в отдель­ных сечениях могут приближаться к скорости звука. Исследуемые в диссер­тации течения могут возникать при аварийных разрывах стенки трубопрово­да, а также в штатных ситуациях, в частности, при продувках и опорожнении участков газопровода высокого давления.

В качестве исходного базиса используется математическое моделиро­вание, основанное на численном решении полной системы уравнений, опи­сывающих нестационарное неизотермическое течение газа в круглой трубе. Поскольку объектом исследования являлись не только «медленные», но и так называемые «быстрые» процессы, протекающие с околозвуковыми скоро­стями, то к рассмотрению привлекаются как уравнения сохранения массы и изменения количества движения, так и уравнение энергии, отражающее тер­модинамические превращения, происходящие с газом. В расчетах строятся распределения скорости, давления и температуры газа, и на этой основе вы­являются новые, ранее неизвестные эффекты, а также проверяются и уточ­няются известные результаты и существующие методы расчета.

Общеизвестны выдающиеся успехи, достигнутые механикой в облас­ти неу становившихся течений газа с большими, в т.ч. звуковыми и гиперзву- ковыми скоростями. Эти исследования выполнялись, главным образом, в связи с решением задач авиации и ракетостроения, «внутренней баллисти­ки», а также движения газа в соплах и каналах промышленных установок. Во всех подобных исследованиях основными факторами, определяющими неус- тановившиеся течения газа, являлись силы давления и силы инерции, а силы трения и тяжести полагались пренебрежимо малыми, в то время как именно они оказываются наиболее существенными для понимания переходных про­цессов в длинных газопроводах.

Газовая динамика развивалась, конечно, и в приложении к проблемам проектирования и эксплуатации трубопроводов. Классики этого направления

Н.Е. Жуковский, С.А. Чаплыгин, JI.C. Лейбензон, И.А. Чарный, И.П. Гинз­бург, С.А. Христианович и многие другие отечественные и зарубежные ис­следователи сформулировали и решили основные задачи установившихся и неустановившихся течений газа в длинных трубопроводах, что позволило успешно создать мощные газотранспортные системы. Широко известны ра­боты по расчету переходных процессов в газопроводах - смены одного уста­новившегося режима работы газопровода другим, работы поршневых ком­прессоров, определению аккумулирующей способности газопроводов и т.п.

Целая плеяда отечественных и зарубежных ученых развивала теорию расчета нестационарных течений газа в газопроводах и, необходимо конста­тировать, достигла в этом направлении значительного прогресса. Однако большинство выполняемых исследований опиралось на предположение об изотермическом характере процессов, о том, что скорость движения газа су­щественно меньше скорости звука, а инерцией потока можно либо пренеб­речь, либо учесть ее в упрощенном виде. Как правило, использовались ли­неаризованные уравнения движения, краевые условия и условия сопряжения, позволяющие находить решения соответствующих математических задач операционными методами или в виде рядов.

В то же время эксплуатация газотранспортных систем связана с мно­жеством технологических режимов, когда «упрощающие предположения» противоречат действительности и не позволяют выявить важные для практи­ки эффекты. Простейшие оценки показывают, что в газопроводах существу­ют течения, характеризуемые большими скоростями, при которых силы инерции весьма существенны, а температура газа вследствие сжатия и рас­ширения потока изменяется на десятки градусов. Прежде всего, это относит­ся к процессам, порождаемым истечением газа через отверстия при разрывах газопровода, а также технологическими операциями, связанными с частич­ным перепуском газа или его сбросом в атмосферу. Данная работа посвящена исследованию именно таких явлений.

Сеть магистральных газопроводов России постоянно растет, увеличи­ваются рабочие давления в них, сами газопроводы прокладываются во все более сложных термодинамических условиях, характеризуемых большой разностью высотных отметок, пролеганием под водой и преодолением гор­ных перевалов. В настоящее время ОАО «Газпром» реализует ряд проектов, которые выходят за рамки накопленного опыта проектирования и эксплуата­ции. В этом ряду следует назвать магистральные газопроводы «Голубой по­ток», «Nordstream», «Ямал-Европа», «Бованенково-Ухта», «Южный поток». Особенность этих трубопроводов заключается в следующем:

* в эксплуатации при повышенных рабочих давлениях;
* в обеспечении более высокой по сравнению с ранее построенными га­зопроводами пропускной способности;
* в пролегании по территориям с многолетнемерзлыми породами;
* в прокладке по дну морей на глубине нескольких тысяч метров и т.п.

В подобных экстремальных условиях любая смена режимов транспортировки приводит к возникновению в газопроводе волн повышенного и пониженного давления, сопровождаемых значительными колебаниями температуры транс­портируемого газа. Для расчета и анализа переходных процессов, возникаю­щих в таких газопроводах, существующая «классическая» теория нуждается в дальнейшем развитии.

Таким образом, *актуальность* настоящего исследования *обусловлена,* прежде всего, *практическими задачами эксплуатации газопроводов,* протя­женность и сложность устройства которых постоянно возрастают, для реше­

ния этих усложняющихся задач необходимо развивать более сложную тео­рию. Поэтому *актуальность* исследования *обусловлена также общенаучны­ми задачами развития теории*, учитывающей в полном объеме факторы, оп­ределяющие течение реальных газов в длинных газопроводах.

В качестве метода исследования переходных процессов в магистраль­ных газопроводах выбрано математическое моделирование, основанное на численном решении одномерных уравнений движения газа в трубопроводе и модифицированных схемах сквозного счета. Математические постановки ря­да задач, используемый алгоритм решения, формулы и многие полученные результаты обладают новизной. В работе найдены решения некоторых акту­альных задач, возникающих в процессе проектировании и эксплуатационной практике газопроводов.

В первой главе диссертации приведен исторический обзор научных исследований нестационарных течений газа в газопроводах. На основе их критического анализа сформулированы цель и задачи диссертационной рабо­ты.

Во второй главе подробно рассмотрен алгоритм вывода рекуррентных соотношений модифицированного метода характеристик, предложенного проф. М.В.Лурье, позволяющего осуществлять численное интегрирование полной системы уравнений газовой динамики в наиболее полном виде, не прибегая к ее упрощению. Кратко рассмотрен вопрос задания начальных, граничных условий и условий совместности при изучении нестационарных течений газа в газопроводе в зависимости от исследуемого процесса.

В третьей главе приведены решения ряда типичных задач газопровод­ного транспорта модифицированным методом характеристик и приближен­ными методами, основанными на использовании линеаризованной системы уравнений газовой динамики. На основе оценки погрешности результатов, полученных аналитическими способами, по сравнению с данными числен­ных расчетов сформулированы выводы и рекомендации по выбору методики исследования переходных процессов в газопроводах. Эталоном точного ре­шения при этом полагаются решения, полученные методом характеристик.

Четвертая глава диссертационной работы посвящена изучению пере­ходного процесса в газопроводе, вызванного истечением газа в атмосферу через малое отверстие в стенке трубы. Приведена постановка задачи, ее ре­шение методом характеристик с помощью созданной автором компьютерной программы «Свеча», используемые при этом граничные, начальные условия, а также условия совместности. Подробно исследован вопрос определения времени, необходимого для полного опорожнения газопровода через свечу заданного диаметра, а также изучен набор параметров, влияющих на про­должительность этого процесса. Дано сравнение полученных результатов с рекомендациями, имеющимися в действующей и уже утратившей актуаль­ность нормативной документации, уточнены имеющиеся решения.

В пятой главе приведены результаты исследования неустановившего- ся процесса, возникающего в результате аварийного истечения газа в атмо­сферу при нарушении герметичности стенки трубопровода. Дана постановка задачи, ее решение методом характеристик с помощью созданной автором компьютерной программы «Разрыв», используемые при этом начальные и граничные условия. Исследована динамика изменения распределений пара­метров потока. В частности, изучена зависимость скорости истечения газа в сечении разрыва от времени. Показано, что существующие при этом колеба­тельные процессы могут привести к образованию в газопроводе газовоздуш­ной смеси взрывоопасной концентрации. Изучено влияние изменения на­чальных условий на интенсивность возникающих колебаний. Решена задача об истечении газа из газопровода в случае развивающейся трещины. Иссле­дован вопрос изменения кольцевых напряжений при различных скоростях движения разрушения.

Результаты, полученные в диссертации, опубликованы в пяти науч­ных работах, три из которых - в периодических изданиях, включенных в Пе­речень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий ВАК, а также докладывались на ряде международных и всероссийских конференций и се­минаров, в том числе:

* 7-й Всероссийской конференции молодых ученых, специалистов и студентов по проблемам газовой промышленности России «Новые техноло­гии в газовой промышленности» (25-28 сентября 2007 г., г. Москва);
* Открытом научно-практическом семинаре молодых работников ООО «Газпром трансгаз Санкт-Петербург» «Новые технологии в газовой промышленности. Актуальные проблемы развития газотранспортной систе­мы» (2-5 июня 2008 г., г. Санкт-Петербург);
* 14th International Conference on Transport&Sedimentation of Solid Par­ticles (23-27 June, 2008, Saint Petersburg, Russia).

Автор благодарит д.т.н. профессора М.В.Лурье за научное руково­дство работой и ценные указания. Автор также благодарен всему профессор­ско-преподавательскому коллективу кафедры «Проектирование и эксплуата­ция нефтегазопроводов» РГУ нефти и газа имени И.М.Губкина, творческая атмосфера которой помогала ему в работе над диссертацией. Особую благо­дарность автор приносит заведующему этой кафедры - д.т.н., профессору

В.М. Писаревскому.

ЛИТЕРАТУРА

1. ОНТП 51-1-85. Магистральные трубопроводы. Часть 1. Газопрово­ды (п.п. 1, 2, 5). - Взамен ВСН 51-2-79; введ. 1986-01-01 // Сб. норм, докум. для работа, лин.-эксплуат. службы и авар.-восстан. поездов. - М.-Брянск, 2005.-Кн. 5.-С. 185-214.
2. СТО Газпром 2-3.5-051-2006. Нормы технологического проектиро­вания магистральных газопроводов. - Введ. 2006-07-03. - М.: ЗАО «Изд. Дом Полиграфия», 2006. - 196 с.
3. Абдуллаев, М.Н. Исследование аварийных режимов магистральных газопроводов: дис. ... канд. техн. наук /М.Н. Абдуллаев. - М., 1965.
4. Абдуллаев, М.Н. Эффективность применения автоматов аварийного перекрытия трубопроводов / М.Н. Абдуллаев // Транспорт природного газа: Сб. науч. тр. / ВНИИ природ, газов. - 1967. - Вып. 29/37. - С. 170-175.
5. Александров, А.В. Выбор оптимального режима эксплуатации сложной системы дальнего транспорта газа с применением ЭВМ: научно- техн. обзор / А.В. Александров, Р.Я. Берман, Е.И. Яковлев; ВНИИЭГазпром. -М., 1970,- 92с.
6. Александров, А.В. Использование электронных вычислительных машин для экспресс-расчетов нестационарных режимов работы магистраль­ных газопроводов / А.В. Александров, С.Р. Бармин, Ю.И. Максимов, B.C. Шахиджанов //Газовая промышленность. - 1965. -№4. - С. 35-39.
7. Александров, А.В. Применение электронно-вычислительных машин для расчета и управления в системах дальнего транспорта газа / А.В. Алек­сандров, Д.Б. Баясанов. - М.: Недра, 1970. - 255 с.
8. Александров, А.В. Проектирование и эксплуатация систем дальнего транспорта газа/ А.В. Александров, Е.И. Яковлев. - М.: Недра, 1974. - 432 с.
9. Аронзон, Н.З. Применение электрического моделирования для рас­чета компрессорных станций / Н.З. Аронзон, В.А. Козлов, А.А. Козобков. -

М.: Недра, 1969. -178 с.

1. Аронович, Г.В. Гидравлический удар и уравнительные резервуары / Г.В. Аронович, Н.А. Картвелишвили, Я.К. Любимцев. - М.: Наука, 1968. - 248 с.
2. Асатурян, А.Ш. О неу становившихся движениях газа в трубопро­водах / А.Ш. Асатурян, З.Т. Галиуллин, В.И. Черникин // Изв. вузов. Нефть и газ.-1961.-№10.-С. 73-79.
3. Ахвердиев, К.С. О некоторых случаях решения задачи о неизотер­мическом движении газа в трубопроводах / К.С. Ахвердиев, А.К. Никитин // Известия вузов. Нефть и газ. - 1969. - №3. - С. 24 - 25.
4. Бабаджанян, Г.А. Движение газа в длинном газопроводе при пере­менном расходе на конце трубы / Г.А. Бабаджанян // Изв. вузов. Нефть и газ. - 1961.-№1.-С. 99-105. '
5. Бабаджанян, Г.А. Об одной задаче неустановившегося движения газа в длинном газопроводе / Г.А. Бабаджанян // Изв. АН АрмССР. Сер. физ.- мат. наук.-1961.-Т. 14.- №3.-С. 121-131.
6. Бармин, С.Р. Исследование переходных режимов на участке маги­стрального газопровода / С.Р. Бармин, Ю.И. Максимов, B.C. Шахиджанов // Газовая промышленность. - 1966. - №1. - С. 29-30.
7. Баясанов, Д.Б. Автоматизация газорегуляторных станций магист­ральных газопроводов: монография / Д.Б. Баясанов, З.А. Керимов. - Л.: Не­дра, 1969. -240 с.
8. Баясанов, Д.Б. Автоматическое управление магистральными газо­проводами / Д.Б. Баясанов. - Л.: Недра, 1964. - 436 с.
9. Баясанов, Д.Б. Некоторые особенности моделирования нестацио­нарных процессов в газопроводах / Д.Б. Баясанов, З.Я. Быкова // Газовая промышленность. - 1968. -№8. - С. 17-19.
10. Баясанов, Д.Б. Расчет и проектирование городских газовых сетей среднего и высокого давления / Д.Б. Баясанов, З.Я. Быкова. - М.: Стройиздат, 1972.-207 с.
11. Берман, Р.Я. Расчет режимов работы закольцованной системы га­зопроводов на ЭВМ / Р.Я. Берман, С.А. Бобровский, З.Т. Галиуллин // Газо­вая промышленность. - 1966. —№12. - С. 14-16.
12. Бобровский, С.А. Вопросы гидравлического и термодинамическо­го расчета газопроводов: дис. ... канд. техн. наук / С.А. Бобровский. - М.,
13. -157 с.
14. Бобровский, С.А. Время перетекания газа из одного газгольдера в другой / С.А. Бобровский // Транспорт и хранение газа и нефти. Труды МИНХ и ГП. - 1963. - Вып. 45. - С. 177-180.
15. Бобровский, С.А. Движение газа в газопроводах с путевым отбо­ром / С.А. Бобровский, С.Г. Щербаков, М.А. Гусейнзаде. - М.: Наука, 1972. - 272 с.
16. Бобровский, С.А. Неустановившиеся процессы в трубопроводах с путевым отбором / С.А. Бобровский, М.А. Гусейнзаде, С.Г. Щербаков // Труды МИНХ иГП. - 1971. - Вып. 97. - С. 20-21.
17. Бобровский, С.А. Применение метода последовательной смены стационарных состояний для решения задач о переходных процессах в газо­проводах / С.А. Бобровский, В.И. Черникин // Изв. вузов. Нефть и газ. - 1963. - №2. — С. 87-91.
18. Быкова, З.Я. Исследование нестационарного движения газа в го­родских газопроводах для диспетчеризации сетей высокого и среднего дав­ления / З.Я. Быкова // Труды «Гипрониигаз». - 1968. - Вып. 7. - С. 37-47.
19. Быкова, З.Я. Исследование нестационарных процессов в городских газопроводах: дис. ... канд. техн. наук/З.Я. Быкова. - М., 1969. - 177 с.
20. Васильев В.В. Неизотермическое течение газа в трубах / В.В. Ва­сильев, Э.А. Бондарев, А.Ф. Воеводин, М.А. Каниболотский. - Новосибирск: Наука, 1978. - 128 с.
21. Васильев, О.Ф. О газотермодинамическом расчете потоков в про­стых и сложных трубопроводах (постановка задачи) / О.Ф. Васильев, А.Ф. Воеводин // Изв. СО АН СССР. Сер. техн. наук. - 1968. - Вып. 3. - №13. - С. 53-62.
22. Воеводин, А.Ф. Численный метод расчета неустановившихся по­токов газа и жидкости в сложных системах трубопроводов и открытых русел: автореф. дис. ... канд. техн. наук/ А.Ф. Воеводин-Новосибирск, 1970. - 17 с.
23. Галиуллин, З.Т. Некоторые вопросы неустановившегося течения газа в трубопроводах / З.Т. Галиуллин, В.И. Черникин // Изв. вузов MB и ССО СССР. Нефть и газ. - 1960. - №12. - С. 113 -120.
24. Галиуллин, З.Т. Нестационарное движение газа в кольцевом газо­проводе высокого давления / З.Т. Галиуллин, В.А. Трохин, Б.Л. Кривошеин, И.Е. Ходанович // Транспорт природного газа: Сб. науч. тр. / ВНИИ природ, газов. - 1967. - Вып. 29/37. - С. 17-23.
25. Галиуллин, З.Т. Новые методы проектирования газонефтепрово- дов / З.Т. Галиуллин, В.И. Черникин. - М., 1964. - 132 с.
26. Галиуллин, З.Т. О некоторых неустановившихся движениях газа в магистральных трубопроводах / З.Т. Галиуллин // Транспорт природного га­за: Сб. науч. тр. / ВНИИ природ, газов. - 1967. - Вып. 29/37. - С. 10-17.
27. Галиуллин, З.Т. Оптимизация технологических параметров трубо­проводного транспорта газа и нефти: автореф. дис. ... докт. техн. наук / З.Т. Галиуллин. - М., 1969. -35 с.
28. Галиуллин, З.Т. Расчет оптимальных режимов кольцевого газо­провода методом динамического программирования / З.Т. Галиуллин, Э.С. Салимжанов, А.И. Гарляускас, Б.Л. Кривошеин // Транспорт природного га­за: Сб. науч. тр. / ВНИИ природ, газов. - 1967. - Вып. 29/37. - С. 23-32.
29. Гарляускас, А.И. О способах линеаризации уравнений неустано­вившегося движения газа в трубах / А.И. Гарляускас, В.И. Фейгин // Изв. ву­зов. Нефть и газ. - 1976. -№1. - С. 62-66.
30. Гарляускас, А.И. Прикладные вопросы решения линеаризованных

уравнений неустановившегося движения газа в трубопроводах / А.И. Гарляу- скас, В.И. Фейгин, М.Е. Буланая // Изв. АН СССР. Сер. Энергетика и транс­порт. - 1975. - №2. - С. 134-139.

1. Гинзбург, М.Я. Электрическое моделирование нелинеаризованных уравнений неустановившегося движения газа и оценка точности методов ли­неаризации / М.Я. Гинзбург // Газовая промышленность. - 1962. - №6. - С. 35-39.
2. Гинцбург, Э.Я. Электрическое моделирование при расчете газовых сетей / Э.Я. Гинцбург //Газовая промышленность. - 1968. - №8. - С. 20-22.
3. Голицына, М.Г. Перепуск газа из одного участка трубопровода в другой / М.Г. Голицына, Е.С. Калашникова, О.Н. Петрова // Материалы конф. Нефть и газ. — М., 1997. — С. 245-246.
4. Голицына, М.Г. Получение приближенных формул гидродинами­ческого расчета течения газа в круглых трубах / М.Г. Голицына, Е.С. Калаш­никова // Материалы II Всерос. конф. мол. ученых, спец. и студентов по про­блемам газ. пром-ти России: Нефть и газ. - М., 1998. - С. 17-18.
5. Грачев, В.В. Динамика трубопроводных систем / В.В. Грачев, С.Г. Щербаков, В.И. Яковлев. - М.:Наука, 1987. - 467 с.
6. Громека, И.С. О скорости распространения волнообразного дви­жения жидкостей в упругих трубках / И.С. Громека // Собр. соч. - М.: Изд-во АН СССР. - 1952. - С. 172 - 183.
7. Гусейнзаде, М.А. Некоторые вопросы неустановившегося движе­ния газа в газопроводе / М.А. Гусейнзаде // Сер. Академические чтения. - Вып. 25. - М.: Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2002. - 16 с.
8. Гусейнзаде, М.А. Неустановившееся движение нефти и газа в ма­гистральных трубопроводах / М.А. Гусейнзаде, В.А. Юфин. - М.: Недра, 1981.-232 с.
9. Гусейнзаде, М. А. Оценка места утечки газа в сложной газопровод­ной системе / М.А. Гусейнзаде, О.Н. Петрова. — М.: Изд-во «Техника». ООО «ТУМА ГРУПП», 2003. - 32 с.
10. Гусейнзаде, М. А. Переходный режим течения газа в газопроводах / М.А. Гусейнзаде, М.Г. Голицына, М.С. Калашникова. - М.: Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 1999. - 276 с.
11. Долешал, Ш. Линеаризация уравнений неустановившегося движе­ния реального газа в трубах при подтропическом процессе / Ш. Долешал // Изв. вузов. Нефть и газ. — 1963. —№ 1. - С. 71-75.
12. Долешал, Ш. Некоторые задачи стационарного и нестационарного движения реальных газов в трубах: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ш. До­лешал. -М., 1963. - 23 с.
13. Долешал, Ш. Общие уравнения дозвукового неустановившегося движения реальных газов в трубах / Ш. Долешал // Изв. вузов. Нефть и газ. - 1962.-№10.-С. 71-76.
14. Жидкова, М.А. Линейная электрическая модель газопровода / М.А. Жидкова // Доклады АН УССР. - 1960. - № 3. - С. 23-27.
15. Жидкова, М.А. Трубопроводный транспорт газа / М.А. Жидкова. - Киев, 1973. - 142 с.
16. Жуковская, З.И. Основы теории расчета магистральных газопро­водов / З.И. Жуковская. - Минск, 1971. - 223 с.
17. Жуковская, З.И. Расчет и проектирование магистральных газопро­водов / З.И. Жуковская. - Минск, 1966. - 212 с.
18. Жуковский, Н.Е. О гидравлическом ударе в водопроводных трубах /Н.Е. Жуковский. - М.-Л.: Гостехиздат, 1949. - 103 с.
19. Иванов, А.В. Специализированные средства вычислительной тех­ники для газовой промышленности / А.В. Иванов, Ф.Г. Темпель // Автомати­зация и телемеханизация в газовой промышленности. - М., 1970. - С. 29 - 34.
20. Калашникова, Е.С. Вариационный метод моделирования задач транспорта газа / Е.С. Калашникова//Математика. Компьютер. Образование:

сб.трудов - М.: Прогресс-традиция. - 1998. -№5. - С. 52-56.

1. Калашникова, Е.С. Переходные процессы в трубопроводном транспорте: автореф. дис. ... канд. техн. наук/Е.С. Калашникова. - М., 2000. -23 с.
2. Калашникова, Е.С. Приближенное решение задач переходного ре­жима течения газа в трубопроводах / Е.С. Калашникова // Газовая промыш­ленность. - 1998. -№3. - С. 11-12.
3. Карпова, Н.А. Исследования параметров нестационарной газопе- редачи и выбор оптимально технологического режима работы магистраль­ных газопроводов: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Н.А. Карпова. - М., 1970.-20 с.
4. Карпова, Н.А. О нестационарных режимах работы магистрального газопровода при остановках промежуточных компрессорных станций / Н.А. Карпова, З.Т. Галиуллин, И.Е. Ходанович//Газоваяпромышленность. -1968. -№10.-С. 22-23.
5. Картвелишвили, Н.А. Неу становившиеся режимы в силовых узлах гидроэлектрических станций / Н.А. Картвелишвили. - M.-JL: Госэнергоиз- дат, 1951.
6. Козобков, А.А. Исследование вибраций технологических трубо­проводов: дис. ... канд. техн. наук/ А.А. Козобков. - М., 1962.
7. Козобков, А.А. Электрическое моделирование вибраций трубо­проводов / А.А. Козобков, А.И. Коппель, А.С. Мессерман. - М., 1974. - 168 с.
8. Кривошеин, Б.Л. Расчет пускового режима газопровода / Б.Л. Кри- вошеин, В.П. Радченко, И.Е. Ходанович //Газовая промышленность». - 1968. -№12.-С. 7-10.
9. Левин, А.М. Гидравлический расчет закольцованных газовых се­тей низкого давления / А.М. Левин, В.А. Смирнов // Строительство трубо­проводов. - 1961. - №8. - С. 15-18.
10. Левин, А.М. Методика расчета аккумулирующей способности га-

зопровода / A.M. Левин *II* Работа и конструкции газовых печей. - Киев, 1953. - С. 28-40.

1. Левин, А.М. Расчет многокольцевых городских газовых сетей на электронной вычислительной машине / А.М. Левин, В.А. Смирнов, А .Я. Чер­касова//Газовая промышленность. - 1961. -№11. - С. 33-35.
2. Лурье, А.И. Операционное исчисление и его приложения к зада­чам механики / А.И. Лурье. - 2-е изд. - Л.-М., 1950. - 431 с.
3. Лурье, М.В. Задачник по трубопроводному транспорту нефти, нефтепродуктов и газа: учеб. пособие для вузов / М.В. Лурье. - М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. - 349 с.
4. Лурье, М.В. Математическое моделирование процессов трубопро­водного транспорта нефти, нефтепродуктов и газа: учеб. пособие / М.В. Лу­рье. - М.: Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. - 336 с.
5. Лурье, М.В. Об условии изотермичности при исследовании неус­тановившихся процессов в газопроводах / М.В. Лурье // Изв. вузов. Энерге­тика. - 1976. - №7. - С. 147-151.
6. Макаров, Г.И. Протяженные разрушения магистральных газопро­водов / Г.И. Макаров; под ред. А.Д. Седых. - М.: Academia, 2002. - 208 с.
7. Макаров, Г.И. Сопротивляемость магистральных газопроводов распространению протяженных разрушений: дис. ... докт. техн. наук / Г.И. Макаров. - М., 1989. -310 с.
8. Максимов, Ю.И. Выбор начальных условий при расчетах неста­ционарного течения газа / Ю.И. Максимов, B.C. Шахиджанов, А.И. Корча­гин, Н.А. Феофанова //Газовая промышленность. - 1966. - №7. - С. 22 - 23.
9. Максимов, Ю.И. Имитационные модели оперативного планирова­ния и управления магистральным транспортом газа / Ю.И. Максимов. - Но­восибирск: Наука, 1982. - 198 с.
10. Максимов, Ю.И. Пример расчета на быстродействующей вычис­лительной машине нестационарного движения газового потока / Ю.И. Мак­симов // Газовая промышленность. - 1962. - №10. - С. 49 - 51.
11. Минский, Е.М. О расчете нестационарного течения газа по линей­ным участкам магистрального газопровода с расположенными между ними компрессорными станциями /Е.М. Минский, Ю.И. Максимов //Газовая про­мышленность. - 1964. - №12. - С. 37-40.
12. Минский, Е.М. Основы расчета сложных газосборных сетей на электронных вычислительных машинах / Е.М. Минский, Ю.И. Максимов // Газовая промышленность. - 1962. - №10. - С. 35-37.
13. Минский, Е.М. Применение электронных вычислительных машин для расчета некоторых случаев нестационарного движения газа в трубах на быстродействующих вычислительных машинах / Е.М. Минский, Ю.И. Мак­симов //Газовая промышленность. - 1961. -№9. - С. 46-49.
14. Мовсесян, JI.A. К вопросу об инерционном сопротивлении маги­стральных трубопроводов / JI.A. Мовсесян // Изв. АН АрмССР. Сер. физ.- мат. наук. - 1960. - Т. 13. - №4. - С. 37-42.
15. Мовсесян, JI.A. К теории неустановившегося движения реальной сжимаемой жидкости в длинных трубопроводах / JI.A. Мовсесян // Изв. АН АрмССР. Сер. физ.-мат. наук. - 1961. - Т. 14. - №3. - С. 139-148.
16. Мовсесян, Л.А. Неустановившееся движение вязкого газа в длин­ных трубопроводах: автореф. дис. ... канд. техн. наук / JI.A. Мовсесян. - М.,
17. -21 с.
18. Мовсесян, JI.A. О неустановившемся движении сжимаемой жид­кости в длинных трубопроводах / JI.A. Мовсесян // Инженерно-физич. журн. - 1961. -№1. -С. 22-26.
19. Мостков, М.А. Расчёты гидравлического удара / М.А. Мостков,

А.А. Башкиров; под ред. В.А. Орлова. -М. -Л.: Госэнергоиздат, 1952. - 200 с.

1. Овсянников, Л.В. Лекции по основам газовой динамики / Л.В. Ов­сянников. - М.: Наука, 1981. - 368 с.
2. Петрова, О.Н. Неустановившееся движение газа в сложных систе­мах магистральных трубопроводов: дис. ... канд. техн. наук / О.Н. Петрова. — М., 1971.-126 с.
3. Пивовар, Л.Н. Расчет времени опорожнения участка газопровода / Л.Н. Пивовар // Нефтяная и газовая промышленность. -1979. -№4. - С. 37-40.
4. Пятакова, О.Н. Об определении места утечки газа в газопроводе и о ее компенсации / О.Н. Пятакова, Т.С. Соболева // Нефть и газ. - 1997. - С. 241-244.
5. Радченко, В.П. Использование разностных схем метода сеток со слабым ограничением устойчивости для расчетов нестационарных неизотер­мических течений реальных газов в трубах / В.П. Радченко, Б.Л. Кривошеин //Инженерно-физич. журн. - 1969. - Т. 16. -№2. - С. 308-315.
6. Радченко, В.П. Решение задач нестационарного неизотермическо­го движения газа в трубопроводах с помощью ЭВМ: автореф. дис. ... канд. техн. наук / В.П. Радченко. - М., 1970. - 21 с.
7. Рено дон, А. Системы и методы моделирования в применении к расчетам магистральных и распределительных газопроводов. Техника зару- беж. газ. пром-ти / А. Ренодон // Докл. и реф. VII Междунар. газ. конгресса. - М.: Гостоптехиздат, 1960. - 22 с.
8. Селезнев, В.Е. Основы численного моделирования магистральных трубопроводов / В.Е. Селезнев, В.В. Алешин, С.Н. Прялов; под ред. В.Е. Се­лезнева. -М.: КомКнига, 2005. -495 с.
9. Синельникова, O.JI. Изменение давления в магистральном газо­проводе при неустановившемся течении газа / О.JI. Синельникова // Газовая промышленность. - 1958. - №5. - С. 48-50.
10. Синельникова, O.JI. Преодоление суточных «пик» расхода газа: автореф. дис. ... канд. техн. наук / О.Л. Синельникова. - М., 1952.-23 с.
11. Смирнов, В.А. Расчет тупиков газопроводов / В.А. Смирнов, Н.И. Никитин //Газовая промышленность. - 1959. - №11. - С. 31-34.
12. Смирнов, Д.Н. Гидравлический удар в напорных водоводах / Д.Н. Смирнов, Л.Б. Зубов. - М.: Стройиздат., 1975. - 125 с.
13. Страхович, К.И. Прикладная газодинамика / К.И. Страхович. - Л.­М.: ОНТИ, 1937.-300 с.
14. Сулейманов, В.А. Численное решение уравнений неустановивше­гося движения газа в длинных трубопроводах методом характеристик / В.А. Сулейманов // Приближенные методы анализа и их приложения: сб. СЭИ СО АН СССР. - Иркутск, 1984. - Вып. 16. - С. 37-43.
15. Сулейманов, В.А. Численный гидравлический расчет опорожне­ния газопровода через факельное устройство / В.А. Сулейманов // Изв. вузов. Нефть и газ. - 1988. - №5. - С. 65-71.
16. Сухарев, М.Г. Инвариантные решения уравнений, описывающих движение жидкости и газа в длинных трубопроводах / М.Г. Сухарев // Докл. АН СССР. - 1967. - Т. 175. - №4. - С. 781-784.
17. Сухарев, М.Г. Исследования и оптимизация систем транспорта газа: дис.... докт. техн. наук/М.Г. Сухарев. - М., 1972.
18. Сухарев, М.Г. О некоторых неустановившихся течениях газа в длинных трубопроводах / М.Г. Сухарев // Изв. АН СССР. Механика жидко­сти и газа. - 1968. - №6. - С. 108-114.
19. Сухарев, М.Г. Расчеты систем транспорта газа с помощью вычис­лительных машин / М.Г. Сухарев, Е.Р. Ставровский. - М., 1971. - 206 с.
20. Темпель, Ф.Г. Автомодельные задачи для одного класса уравне­ний математической физики / Ф.Г. Темпель // Изв. АН УзССР. Сер. тех. наук. - 1969. -№1. - С. 59-64.
21. Темпель, Ф.Г. Влияние места привязки параллельного газопрово­да на аккумулирующую способность основного газопровода / Ф.Г. Темпель // Газовая промышленность. - 1958. - №5. - С. 45-47.
22. Темпель, Ф.Г. Выбор рациональной технологической схемы транспорта газа / Ф.Г. Темпель // Разраб. газ. мест-ний и транспорт газа. - Л.,

1970.-С. 196-214.

1. Темпель, Ф.Г. Изучение нестационарных процессов движения га­за в магистральном трубопроводе при помощи методов физического и мате­матического моделирования / Ф.Г. Темпель, А.В. Иванов // Мат-лы респ. конф. по газификации Узбекистана. - Ташкент, 1963. - С. 92-115.
2. Темпель, Ф.Г. К вопросу о нестационарном режиме газопередачи: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Ф.Г. Темпель. - М., 1959. - 16 с.
3. Темпель, Ф.Г. К вопросу о применении методов и средств вычис­лительной техники для диспетчеризации систем дальнего газоснабжения / Ф.Г. Темпель, А.В. Иванов. - М., 1964. - 9 с.
4. Темпель, Ф.Г. К методике решения некоторых квазилинейных уравнений математической физики / Ф.Г. Темпель // Разработка газ. мест- ний.-Л., 1969.-С. 161-168.
5. Темпель, Ф.Г. Метод приближенного решения некоторых квази­линейных уравнений математической физики / Ф.Г. Темпель, В.И. Толстова // Мат-лы по геологии, добыче и транспорту природ, газа в Средн. Азии. - Ташкент, 1965.-С. 172-177.
6. Темпель, Ф.Г. Метод решения некоторых квазилинейных уравне­ний математической физики / Ф.Г. Темпель // Журнал вычислит, математики и мат. физики. - 1966. - Т. 6. - С. 175-177.
7. Темпель, Ф.Г. Метод решения одного класса систем нелинейных дифференциальных уравнений в частных производных / Ф.Г. Темпель // Изв. АН УзССР. - 1962. - №9. - С. 15-20.
8. Темпель, Ф.Г. Методические указания по проектированию техно­логического процесса транспорта газа в трубопроводных системах с учетом нестационарности режима газопотребления во времени / Ф.Г. Темпель // Экон. рефератив. сборник. - 1968. -№4. - С. 42-49.
9. Темпель, Ф.Г. Механика газовых потоков в трубах. (Прикладные аспекты) / Ф.Г. Темпель. - Л., 1972. - 213 с.
10. Темпель, Ф.Г. Моделирование гидрогазодинамических процес­сов, протекающих в сложных трубопроводных системах / Ф.Г. Темпель, А.В. Иванов, В.А. Васильев // Геология, добыча и транспорт природного газа / СредазНИИГаз. - Ташкент, 1965. - С.37-45.
11. Темпель, Ф.Г. Моделирование нестационарных процессов дви­жения газа в магистральном трубопроводе / Ф.Г. Темпель, А.В. Иванов // Га­зовое дело. — 1962. - №9. - С. 15-20.
12. Темпель, Ф.Г. Моделирование процесса аккумуляции в магист­ральном газопроводе / Ф.Г. Темпель // Газовая промышленность. - 1956. - №7. - С. 32-36.
13. Темпель, Ф.Г. Некоторые автомодельные задачи движения газа в трубопроводе / Ф.Г. Темпель, Ф.Б. Абуталиев, Р.С. Буханцева, Б. Мосолов // Изв. АНУзССР. - 1962. - №6. - С. 35-40.
14. Темпель, Ф.Г. Некоторые методические указания по прогнозиро­ванию режимов газопередачи / Ф.Г. Темпель, В.М. Маслов // Разраб. газ. мест-ний и транспорт газа. - JL, 1970. - С. 151-183.
15. Темпель, Ф.Г. Некоторые методические указания по расчету тех­нологического процесса транспорта газа / Ф.Г. Темпель // Разработка газ. мест-ний. - Л., 1969. - С. 96-104.
16. Темпель, Ф.Г. Новый метод решения некоторых квазилинейных уравнений математической физики / Ф.Г. Темпель // Мат-лы к науч. сес. по вопр. геологии, добычи и транспорта газа в Средн. Азии. - Ташкент, 1966. - С. 112-119.
17. Темпель, Ф.Г. О гидравлическом режиме магистрального газо­провода / Ф.Г. Темпель //Газовое дело. - 1965. -№2. - С. 12 -14.
18. Темпель, Ф.Г. О методике расчета аккумулирующей способности магистрального газопровода / Ф.Г. Темпель // Газовая промышленность. - 1956.-№3.-С. 29-32.
19. Темпель, Ф.Г. О расчете магистрального газопровода при уело- вии нестационарности режима газопередачи / Ф.Г. Темпе ль, И.Е. Ходанович //Газовая промышленность. - 1959. - №2. - С. 49-54.
20. Темпель, Ф.Г. Об автомодельных движениях газа в трубопрово­дах / Ф.Г. Темпель, И.Е. Ходанович // Транспорт природного газа. - М., 1960. -С. 50-59.
21. Темпель, Ф.Г. Об одной автомодельной задаче движения капель­ной жидкости в трубопроводе / Ф.Г. Темпель // Докл. АН УзССР. - 1961. - №1. - С.41-44.
22. Темпель, Ф.Г. Оценка аккумулирующей способности магист­рального газопровода / Ф.Г. Темпель // Нефтяное хозяйство. - 1953. - №10. - С. 49-54.
23. Темпель, Ф.Г. Технология режима газопередачи / Ф.Г. Темпель,

В.М. Маслов. - Л., 1974. - 110 с.

1. Темпель, Ф.Г. Технология транспорта газа. (Основы рачета и управления) / Ф.Г. Темпель. - Л.: Недра, 1976. - 279 с.
2. Требин, Ф.А. Изотермическое течение газа в трубах / Ф.А. Тре- бин, С.А Христианович, В.И. Черникин //Изв. АН СССР. Отд-ние техн. наук. -1945.-№9.-С. 845-856.
3. Хачатурян, С.А. Моделирование газодинамических процессов в трубопроводах нефтепромысловых компрессоров / С.А. Хачатурян. - М., 1980.-35 с.
4. Ходанович, И.Е. Аналитические основы проектирования и экс­плуатации магистральных газопроводов / И.Е. Ходанович. - М.: Гостоптех- издат, 1961. - 128 с.
5. Ходанович, И.Е. Гидравлический расчет магистральных газопро­водов и их систем / И.Е. Ходанович, Е.М. Минский, Ф.Г. Темпель // Докл. Комитету экспертов по газу ЕЭК ООН. - М., 1962. - 24 с.
6. Ходанович, И.Е. Изменение давления по длине газопровода при неустановившемся движении газа / И.Е. Ходанович, В.А. Мамаев, Н.В. Не- фелова, Г.Н. Ганчева // Транспорт природного газа: Сб. науч. тр. / ВНИИ природ, газов. - 1960. - Вып. №8. — С. 14-26.
7. Ходанович, И.Е. Изучение закономерностей изменения давления и расхода газа по длине газопровода при нестационарном движении / И.Е. Ходанович // Транспорт газа. - М., 1961. - С. 3-27.
8. Ходанович, И.Е. Метод приближенного расчета газопроводного кольца высокого давления / И.Е. Ходанович, Ф.Г. Темпель // Газовая про­мышленность. - 1960. -№12. -С. 39-42.
9. Ходанович, И.Е. Методика расчета аккумулирующей способно­сти газопровода с учетом скорости распространения фронта волны давления. / И.Е. Ходанович, Ф.Г. Темпель // Транспорт газа. - М., 1961. - С. 50-57.
10. Ходанович, И.Е. Моделирование нестационарных процессов движения газа в магистральном трубопроводе / И.Е. Ходанович, Ф.Г. Тем­пель //Газовая промышленность. — 1959. - №8. - С. 34-39.
11. Ходанович, И.Е. Неизотермическое течение реального газа в га­зопроводе при переменном значении коэффициента теплопередачи / И.Е. Хо­данович, З.Т. Галиуллин, Б.Л. Кривошеин // Транспорт газа. - М., 1964. — С. 38-43.
12. Ходанович, И.Е. О некоторых расчетах газопроводов при неста­ционарном движении / И.Е. Ходанович, В.А. Мамаев // Транспорт природно­го газа: Сб. науч. тр. / ВНИИ природ, газов. - 1959. - Вып. №5 (13). - С. 214­228.
13. Ходанович, И.Е. О режиме давления на газопроводе при заполне­нии его газом / И.Е. Ходанович, Н.В. Нефелова // Транспорт природного газа: Сб. науч. тр. / ВНИИ природ, газов. - 1957. - Вып. №1 (9). - С. 10-16.
14. Ходанович, И.Е. Об изменении давления газа на конце газопро­вода в период его опорожнения / И.Е. Ходанович // Газовая промышленность. - 1956. -№2. -С.31-33.
15. Ходанович, И.Е. Тепловые режимы магистральных газопроводов

/ И.Е. Ходанович, Б.Л. Кривошеин, Р.Н. Бикчентай. - М.:Недра, 1971. - 216 с.

1. Христианович, С.А. Некоторые новые вопросы механики сплош­ной среды: Неустановившееся движение в каналах и реках. Математическая теория пластичности. Движение грунтовых вод / С.А. Христианович, С.Г. Михлин, Б.Б. Девисон; Акад. наук СССР, Мат. ин-т им. В.А.Стеклова; под ред. Кочина Н.Е. - М.; Л: Изд-во АН СССР, 1938. - 407 с.
2. Христианович, С.А. Основы газовой динамики / С.А. Христиано­вич, Ф.И. Франкль, Р.Н. Алексеева. - М.: ЦАГИ, 1938. - 112 с.
3. Цатурян, С.И. К задаче о неустановившемся движении газа в длинных газопроводах при переменном расходе его на конце трубы / С.И. Цатурян // Вестник Моск. ун-та. Математика - механика. - 1969. - №1. - С. 76-85.
4. Чаплыгин, С.А. О газовых струях: дис. ... докт. техн. наук / С.А. Чаплыгин. -1902.
5. Чарный, И.А. Краткий курс газовой динамики / И.А. Чарный. М., 1960.-115 с.
6. Чарный, И.А. Некоторые задачи неу становившегося движения га­за в газопроводах / И.А. Чарный // Труды ВНИИГАЗ. - М.: Гостоптехиздат, 1951.
7. Чарный, И.А. Неустановившееся движение реальной жидкости в трубах / И.А. Чарный. - М.: Недра, 1975. - 296 с.
8. Чарный, И.А. Основы газовой динамики / И.А. Чарный. - М.: Гостоптехиздат, 1961. - 199 с.
9. Щербаков, С.Г. Влияние сосредоточенных отборов на неустано- вившийся процесс в газопроводах / С.Г. Щербаков, С.А. Бобровский, М.А. Гусейнзаде // Труды МИНХ и ГП. - 1971. - Вып. 97. - С. 25-26.
10. Щербаков, С.Г. Неустановившееся движение газа в газопроводах при путевом отборе / С.Г. Щербаков, С.А. Бобровский, М.А. Гусейнзаде // Тематические научно-технические обзоры ВНИИОЭНГ. - М., 1969.
11. Щербаков, С.Г. Неустановившийся процесс в газопроводе после включения отбора газа / С.Г. Щербаков, О.Н. Петрова // Труды МИНХ и ГП. -1971.-Вып. 97.-С. 30-31.
12. Щербаков, С.Г. Определение аварийного состояния газопровода /

С.Г. Щербаков, С.А. Бобровский // Тематические научно-технические обзоры ВНИИОЭНГ.-М, 1970.

1. Щербаков, С.Г. Определение среднего давления газа в магист­ральном газопроводе / С.Г. Щербаков, С.А. Бобровский // Газовая промыш­ленность. - 1968. - №8. - С. 21-22.
2. Щербаков, С.Г. Распределение давления и расхода в газопроводе при путевых отборах на отдельных участках / С.Г. Щербаков // Труды МИНХ иГП. - 1971. - Вып. 97. - С. 24-25.
3. Щербаков, С.Г. Распределение давления и расхода с непрерыв­ным путевым отбором газа / С.Г. Щербаков // Труды МИНХ и ГП. - 1971. - Вып. 97. - С. 24.
4. Щербаков, С.Г. Теоретические исследования движения газа и жидкости в трубопроводах с путевыми отборами и аварийными утечками: дис. ... докт. техн. наук / С.Г. Щербаков. - М., 1972.
5. Яблонский, B.C. Проектирование нефтегазопроводов / B.C. Яб­лонский, В.Д. Белоусов. - М., 1959.
6. Яковлев, Е.И. Некоторые вопросы расчетов нестационарных ре­жимов в магистральных газопроводах: автореф. дис. ... канд. техн. наук. - М., 1968.-22 с.
7. Гидродинамические процессы в сложных трубопроводных сис­темах / М.А. Гусейнзаде [и др.]. - М.: Недра, 1991. - 164 с.
8. Исследование гидравлических режимов кольцевого газопровода Московской области / И.Е. Ходанович [и др.] // ЦНТИ Мингазпром. - 1967. - №8.-С. 31-35.
9. Некоторые вопросы проектирования газопроводов / В.И. Черни- кин [и др.] // Развитие газовой промышленности в СССР. - М.: Гостоптехиз- дат, 1960. - С.257-293.
10. Некоторые математические модели нестационарного течения газа в магистральных трубопроводах / Б.Л. Кривошеин [и др.] // Известия АН СССР. Разд. Энергетика и транспорт. - 1974. - №6. - С. 112-120.
11. Результаты исследования аварийных режимов газопроводов на линейной электромодели / И.Е. Ходанович [и др.] // Транспорт природного газа: Сб. науч. тр. / ВНИИ природ, газов. - 1967. - Вып. 29/37. - С. 61-85.
12. Сложные трубопроводные системы / В.В. Грачев [и др.]. - М.: Недра, 1982.-410 с.
13. Трубопроводные системы энергетики: модели, приложения, ин­формационные технологии / А.А. Атавин [и др.]; под общ. ред. М.Г. Сухаре­ва. - М.: ГУЛ Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2000.-320 с.
14. Трубопроводный транспорт газа / С.А. Бобровский [и др.]. - М.: Наука, 1976. -495 с.
15. Численные решения уравнений, описывающих неизотермическое течение газа в трубопроводах / Б.Л. Кривошеин [и др.] // Инженерно-физич. журн. - 1969. - №4. - С. 15-19.
16. Электрическое моделирование компрессорных станций / А.А. Козобков [и др.]. -М.:Недра, 1971.