

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П. КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

Динамика трубопроводной магистрали стендовой системы ЖРД и технологических установок

Программное и методическое обеспечение
по изучению динамических процессов

Издание 2-е, переработанное и дополненное

Самара

2010

УДК 62 - 50 /075/

Авторы-составители: **Гимадиев Асгат Гатъятович,**
Гимадиев Марат Асгатович,
Илюхин Владимир Николаевич

Рецензент: заведующий кафедрой «Управление и системный анализ в теплоэнергетике» Самарского государственного технического университета, д.т.н. профессор Дилигенский Н.В.

Рассмотрены динамические процессы в трубопроводной магистрали стендовой системы ЖРД и технологических установок при резком открытии запорно-регулирующей арматуры. Представлена математическая модель неустановившегося движения жидкостной пробки в трубопроводной магистрали, позволяющая рассчитывать давление, скорость потока жидкости и силу их реакции в изгибах трубопровода. Расчет параметров магистрали ведется на ПК в диалоговом режиме. Методика расчета позволяет выбирать параметры трубопроводной магистрали и дроссельных шайб, при которых сила реакции потока жидкости в изгибах трубопроводов не превышает заданную величину.

Программное и методическое обеспечение предназначено для магистрантов по курсу «Автоматика и регулирование двигательных установок ракетных и космических систем» в рамках магистерской программы «Энергетика, экология и двигательные установки ракетных и космических систем» по направлению 160700.68 «Двигатели летательных аппаратов», а также для студентов специальности 160302 «Ракетные двигатели» и 150802 «Гидравлические машины, гидроприводы и гидропневмоавтоматика» и могут быть полезны при выполнении курсовых работ, дипломных проектов и подготовке к экзаменам.

Подготовлено на кафедре автоматических систем энергетических установок.

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2010

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ТРУБОПРОВОДНОЙ МАГИСТРАЛИ СТЕНДОВОЙ СИСТЕМЫ ЖРД И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК	4
2. МЕТОДИКА И АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРУБОПРОВОДНОЙ МАГИСТРАЛИ	8
3. ИНСТРУКЦИЯ ПО ПОЛЬЗОВАНИЮ ПРОГРАММОЙ РАСЧЕТА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРУБОПРОВОДНОЙ МАГИСТРАЛИ	11
4. ПРИМЕР ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ТРУБОПРОВОДНОЙ МАГИСТРАЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ	16
5. Содержание отчета по лабораторной работе	21
6. Вопросы для проверки знаний по динамике трубопроводной магистрали	22
Список использованных источников	23

1 ДИНАМИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ТРУБОПРОВОДНОЙ МАГИСТРАЛИ СТЕНДОВОЙ СИСТЕМЫ ЖРД И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Динамические процессы, возникающие в топливных магистралях ЖРД, зависят от многих факторов, в том числе от их геометрических параметров, свойств компонентов топлива, пневмогидравлической схемы и циклограммы работы двигателя. Известно, что характер динамических процессов в магистралях оказывает существенное влияние на параметры ЖРД. Следовательно, для правильного определения характеристик двигателя во время его испытаний необходимо обеспечить соответствие динамических процессов, возникающих в стендовых магистралях, процессам в объектовых магистралях при эксплуатации двигателя в составе ракетного комплекса. Это достигается идентичностью конструктивного выполнения системы подачи компонентов к двигателю на стенде и в составе ракетного блока, что представляет собой значительные технические трудности. Это обусловлено необходимостью обеспечения безопасности при стендовых испытаниях путем удаления расходных баков от двигателя, возможностью реализации на стенде различных программ испытаний, связанных с установкой в топливные магистрали клапанов, дроссельных устройств и других элементов. Кроме того, необходимо обеспечить геометрическое подобие гидравлических трактов и граничных условий на концах трубопровода [2, 8, 9, 16, 17]. Решение этой задачи может быть получено установкой разделительной емкости, выполненной по проточной или непроточной схеме (рис. 1.1 [9]). Для использования разделительной емкости при испытании двигателя на стенде необходимо выбрать параметры трубопроводной магистрали (длину, диаметр, дроссельные шайбы), что может быть выполнено путем предварительного моделирования динамических процессов на ПК.

При проведении стендовых экспериментальных работ по отработке динамических процессов в трубопроводных магистралях ставятся и другие задачи: проверить адекватность математической модели реальным процессам

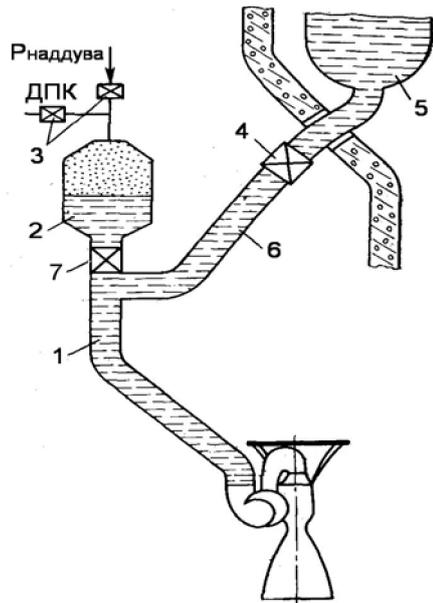


Рис. 1.1. Разделительная емкость, выполненная по непроточной схеме с трубопроводными магистралями: 1- трубопровод подвода компонента топлива к двигателю; 2 разделительный бак; 3 – дренажно-предохранительные клапаны; 4 – клапан питания; 5 – емкость для хранения компонента топлива; 6 – трубопровод подвода компонента топлива к баку; 7 - клапан

течения газонасыщенных компонентов топлива, определить степень влияния свободного газа в потоке на динамические характеристики систем питания (рис. 1.2 [17]).

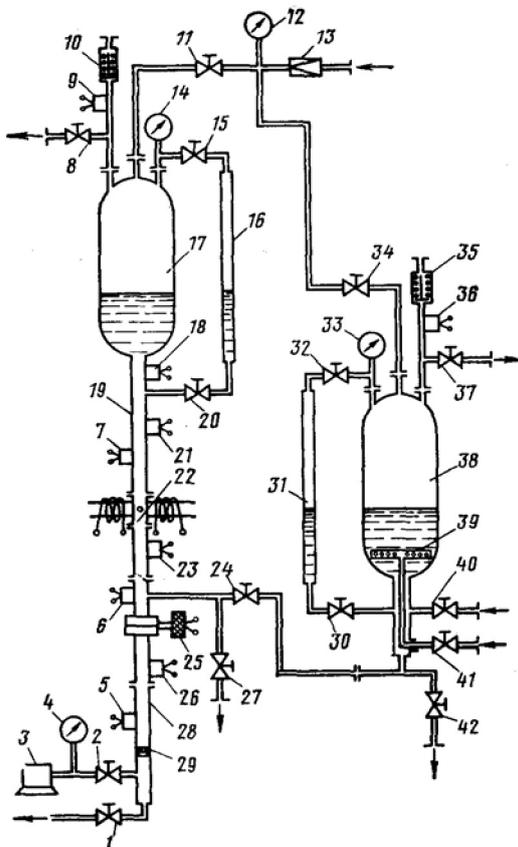


Рис. 1.2. Экспериментальная установка для проверки адекватности математической модели реальному процессу: 1, 2, 8, 11, 15, 20, 24, 27, 30, 32, 34, 37, 40, 41, 42 – запорные вентили; 3 – вакуум-насос; 4 – мановакууметр; 12, 33 – манометры; 5, 6, 7, 9, 18, 21, 23, 26, 36 – малоинерционные датчики давления; 10, 35 – предохранительные клапаны; 16, 31 – уровнемеры; 13 – редуктор; 17, 38 – емкость; 19 – трубопровод питания; 22 – расходомер индуктивного типа; 25 – пусковой клапан; 28 – трубопровод; 29 – дроссельная шайба; 39 – коллектор; 37 – дренажный вентиль

При этом также необходимо предварительно рассчитать скорость движения компонента топлива, давление наддува баков, скорость срабатывания запорного клапана, диаметр дроссельных шайб, имитирующих граничные условия. Решение этой задачи требует математического моделирования динамических процессов в трубопроводной магистрали стендовой системы.

Аналогичные задачи часто возникают при доводке и эксплуатации технологических установок различного назначения. Разработка мероприятий по обеспечению надежности трубопроводной арматуры и самих трубопроводов должна начинаться с анализа динамических процессов, возникающих при штатном и нештатном срабатывании исполнительных элементов систем автоматического и ручного управления [4, 6, 7, 12, 14, 20, 23, 24]. В качестве примера такого анализа, можно рассмотреть процессы, происходящие в водопроводных магистралях из поливинилхлорида (ПВХ) одного из фильтрационных блоков химического цеха ТЭС [20]. В основу анализа гидродинамических процессов в трубопроводных магистралях фильтров химводоочистки заложена оценка условий, при которых резкое ускорение или замедление потока жидкости приводит к появлению повышенных реактивных сил в изгибах трубопроводов или к возникновению гидравлического удара. Ускоренное или замедленное движение жидкости может происходить при резком открытии или закрытии энетропневмоклапана (ЭПК).

Эксплуатация катионного фильтра сопровождается периодическим исполнением четырех операций: взрыхления, регенерация, отмывки и фильтрования (рис. 1.3).

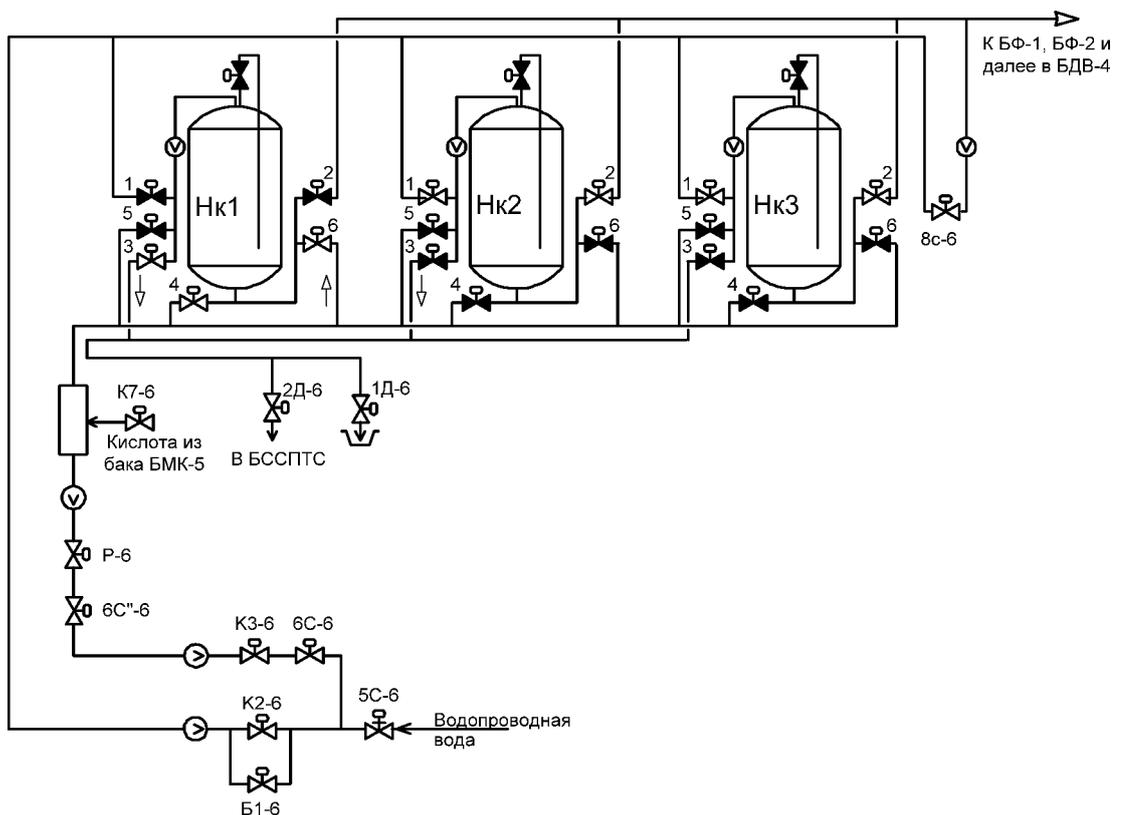


Рис. 1.3. Иллюстрация положения вентиля и клапанов блока химводоочистки в режиме взрыхления в баке Hк1:  - открытый кран;  - закрытый кран

Опасными являются нештатные технологические операции, сопровождающиеся резким открытием ЭПК №3. Причем опасность разрушения трубопроводов возникает только при определенных условиях. При резком закрытии ЭПК таким условием является наличие сплошного потока жидкости через клапан. Резкое закрытие ЭПК (при длительности закрытия $\tau_3 \leq 0,05$ с) приводит к гидравлическому удару на входе в клапан. Величина давления гидравлического удара $P_{гв}$ определяется по формуле [10, 13, 15, 18]:

$$P_{гв} = P_{ст} + \rho cv,$$

где $P_{ст}$ - статическое давление в трубопроводе на входе в клапан; ρ - плотность жидкости; c - скорость звука в трубопроводе с жидкостью; v - скорость потока жидкости в трубопроводе на входе в клапан. Скорость

потока жидкости определяется расходом, а скорость звука в трубопроводе с жидкостью по формуле Н.Е. Жуковского [10]

$$c = \frac{c_{ж}}{\sqrt{1 + \frac{(D+d)E_{ж}}{(D-d)E_{тр}}}},$$

где $c_{ж} = 1425$ м/с - скорость звука в воде (или в трубопроводе с абсолютно жесткими стенками); D, d - наружный и внутренний диаметры трубопровода; $E_{ж} = \rho c_{ж}^2$ - модуль упругости воды; $E_{тр}$ - модуль упругости материала трубы.

Если по каким либо причинам, например при наличии воздушных пробок на входе в клапан происходит увеличение скорости потока жидкости выше скорости по штатным условиям, то давление гидравлического удара может иметь значительную величину.

При резком открытии ЭПК №3 нештатными условиями, приводящими к ускорению жидкости в трубопроводах и, как следствие, к появлению повышенных гидродинамических сил являются: наличие в баке воздушной подушки, отсутствие воды в трубопроводе за клапаном. При этом в местах изгиба труб возникает реактивная сила потока жидкости, которая может превысить допустимую силу по изгибному напряжению.

2 МЕТОДИКА И АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРУБОПРОВОДНОЙ МАГИСТРАЛИ

Расчетная схема трубопроводной магистрали, соответствующей типовой для стендовой системы испытаний ЖРД и многих технологических установок, приведена на рис. 2.1. В верхней точке полости бака, заполненной жидкостью, имеется воздушная подушка. Слив жидкости из бака в общем случае производится из верхней точки через вертикальный участок трубопровода, заполненный жидкостью. Вертикальный участок трубопровода заканчивается запорно-регулирующей арматурой или ЭПК. Участок трубопровода за клапаном заполнен воздушной средой и имеет

многочисленные изгибы, в том числе и для компенсации температурной деформации трубопровода. Конечный участок трубопровода соединен с емкостью, находящейся под атмосферным давлением.

По длине трубопровода в местах изгиба могут размещаться защитные элементы от ускорения потока жидкости в виде диафрагм, гасителя энергии ускоренного потока жидкости.

Для расчета динамических процессов в трубопроводной магистрали вначале принят ряд упрощающих допущений: процесс изменения давления газа в баке - изотермический; скорость движения жидкости в трубопроводах намного меньше скорости звука в них; остаточная на стенках трубопровода жидкость намного меньше объема движущейся жидкостной пробки; гидростатическое давление в трубопроводе не учитывается, гидравлические потери учитываются по квазистационарной модели; движение воздуха в трубопроводе рассчитывается для турбулентного режима движения газа.

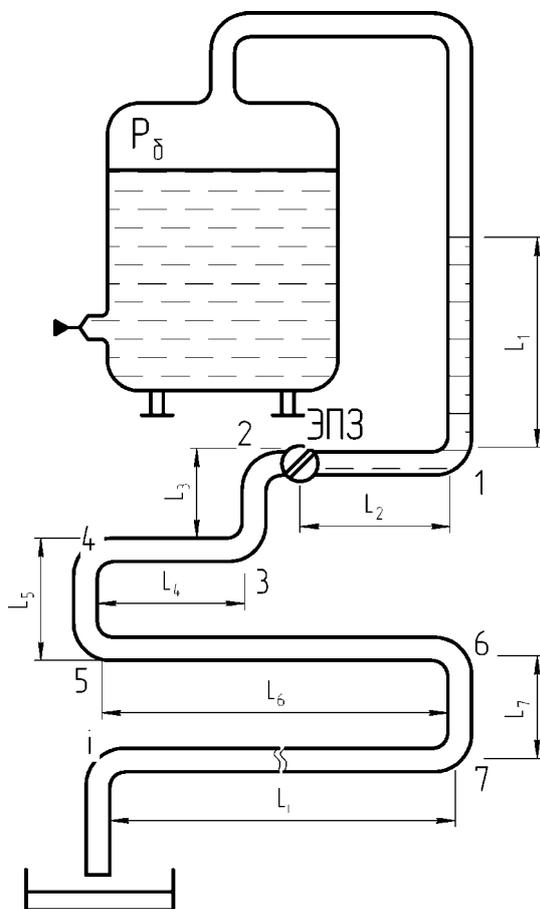


Рис. 2.1. Расчетная схема пневмогидравлической трубопроводной магистрали

В соответствие с принятыми допущениями динамический процесс в трубопроводной магистрали описывается интегрально-дифференциальными уравнениями для входного воздушного участка, включая воздушную подушку, для участка с движущейся жидкостью и выходного воздушного участка. Расчет динамических параметров потока жидкости в магистрали проводится на основе решения нелинейных интегрально-дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами. Решение таких уравнений в явном виде не представляется возможным. Поэтому применен метод последовательных приближений с представлением интегрально-дифференциальных уравнений в разностной форме [1, 14, 15].

На основании разработанной математической модели составлены алгоритм и программа расчета динамических параметров трубопроводной магистрали. В результате расчета определяются расход (скорость потока) жидкости в характерных сечениях трубопроводной магистрали и давление в емкости. При известной скорости жидкости в местах изгиба рассчитываются гидродинамические силы, действующие на трубопроводы. Гидродинамические силы в сливной магистрали возникают в основном в местах изгиба трубопроводов, поэтому целесообразно вести расчет скорости потока жидкости в этих сечениях.

Так как по допущению о сосредоточенности параметров трубопроводов объемная скорость потока в пределах выделенной жидкостной пробки одинакова, то и силы реакции струи в местах изгиба при одинаковых скоростях в один и тот же момент времени будут одинаковы. Поэтому для определения силы реакции струи жидкости в местах изгиба трубопроводов достаточно рассчитать скорость потока и определить проходит ли в этот момент времени жидкость через тот или иной изгиб.

Гидродинамические силы рассчитываются на основе известной из теоретической механики теоремы о количестве движения материальных

точек. При выводе расчетных зависимостей принято допущение о том, что движение жидкости в месте изгиба трубопровода квазистационарное.

При действии силы реакции струи изгиб трубопровода испытывает сложное напряженное состояние. Входной и выходной участки трубопроводов подвергаются одновременно растяжению и изгибу. В зависимости от конфигурации входного и выходного участков труб, степени крепления их в опорных точках могут быть определены напряжения в опасных сечениях и рассчитан запас прочности трубопроводных магистралей.

При исследовании динамических характеристик трубопроводной магистрали необходимо сформулировать цель и содержание работы. Необходимо составить гидравлическую схему исследуемой системы, задать все параметры или их пределы, в которых проводятся исследования, все анализируемые режимы движения жидкости в трубопроводе: трубопровод заполнен воздухом, жидкостью; бак содержит воздушную подушку или полностью заполнен жидкостью, при этом объем бака нужно брать не менее 1000 м^3 ; магистраль без корректирующей диафрагмы и с диафрагмой, место предполагаемой ее установки, диаметр которой подбираются исходя из допустимой максимальной силы реакции потока жидкости.

3 ИНСТРУКЦИЯ ПО ПОЛЬЗОВАНИЮ ПРОГРАММОЙ РАСЧЕТА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТРУБОПРОВОДНОЙ МАГИСТРАЛИ

Программа расчета, написанная на алгоритмическом языке Си++ под операционную систему Windows 95 содержит исполняемый модуль, реализующий интерфейс пользователя и осуществляющий непосредственно вычислительные операции [23, 24]. В одной директории с файлом proflow.exe могут находиться файлы исходных данных для расчета (с расширением *.dat) и текстовые файлы, содержащие результаты расчета (с расширением *.txt).

Программа создает текстовые файлы, содержащие данные о структуре трубопроводной системы и набор конструктивных и режимных параметров. Имена этих файлов задаются пользователем.

Исходными данными для расчета являются: давление в емкости; объем воздушной подушки в емкости; объем емкости; объемная упругость емкости; длительность открытия клапана; рассчитываемая длительность переходного процесса; состояние среды за клапаном (воздух или жидкость); длины составляющих участков трубопровода; диаметры трубопроводов; коэффициенты сопротивления изгибов трубопровода; номера изгибов, в которых установлены диафрагмы; диаметры установленных диафрагм.

Программа позволяет рассчитывать следующие параметры трубопроводной магистрали:

- зависимость площади проходного сечения клапана от времени;
- скорости потока жидкости в выделенных сечениях трубопроводов от времени;
- изменение давления в емкости от времени;
- условный путь, пройденный жидкостной пробкой;
- зависимость сил реакции потока жидкости в изгибах трубопроводов от времени;
- зависимость статического расхода жидкости от давления в емкости.

Вход в программу расчета осуществляется запуском файла proflow.exe, после чего на экране ПЭВМ появляется главное окно программы (рис. 3.1).

Для вывода результатов расчета в текстовый файл или в виде графиков на экран ПЭВМ необходимо предварительно выполнить расчет, выбрав соответствующую команду из меню в главном окне программы. Под верхней строкой, содержащей название программы «Гидродинамический расчет», расположена горизонтальная линейка меню, содержащая пункты: «Исходные данные»; «Расчет»; «Вывод результатов»; «О программе»; «Выход», любой из которых можно выбрать с помощью манипулятора «мышь». При выборе пункта «Исходные данные» появляется спускающееся

меню, содержащее пункты: «Ввод»; «Ввод из файла»; «Запись в файл», с помощью которых выполняются стандартные действия с текстовыми файлами, содержащими исходные данные. Эти пункты меню продублированы пиктограммами в наборном поле, которое расположено под основным меню. При выборе пункта «Ввод» открывается окно запроса исходных данных со схемой расчетной гидравлической магистрали (рисунок 4.2). Для удобства работы программа допускает нахождение окна ввода исходных данных в открытом положении при расчете и просмотре результатов-графиков. При выборе пункта «Расчет» управление передается вычислительной подпрограмме, которая считывает исходные данные из окна ввода и создает массив данных с результатами расчета в оперативной памяти ПК.

При выборе пункта «Вывод результатов» появляется спускающееся меню, содержащее пункты: «Вывод графика в файл»; «Вывод результатов в файл». Меню «Вывод графика в файл» производит запись графика, находящегося на экране в графический файл в стандарте *.wmf для последующих стандартных действий в среде Windows.

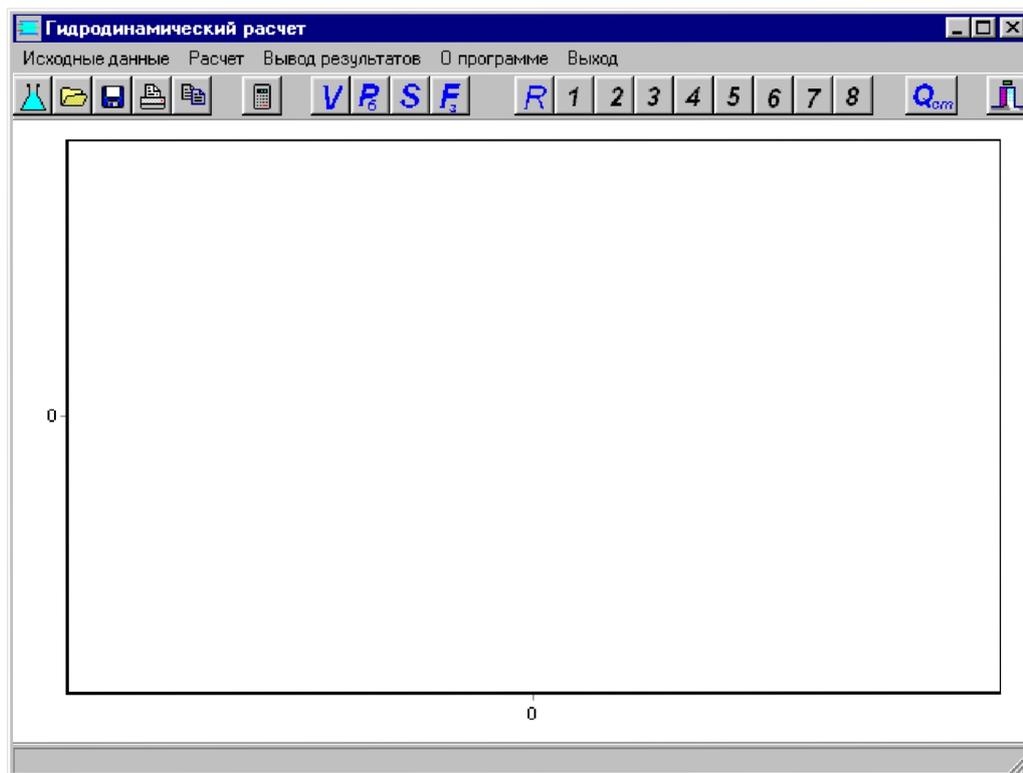


Рис. 3.1. Главное окно программы расчета динамических параметров трубопроводной магистрали

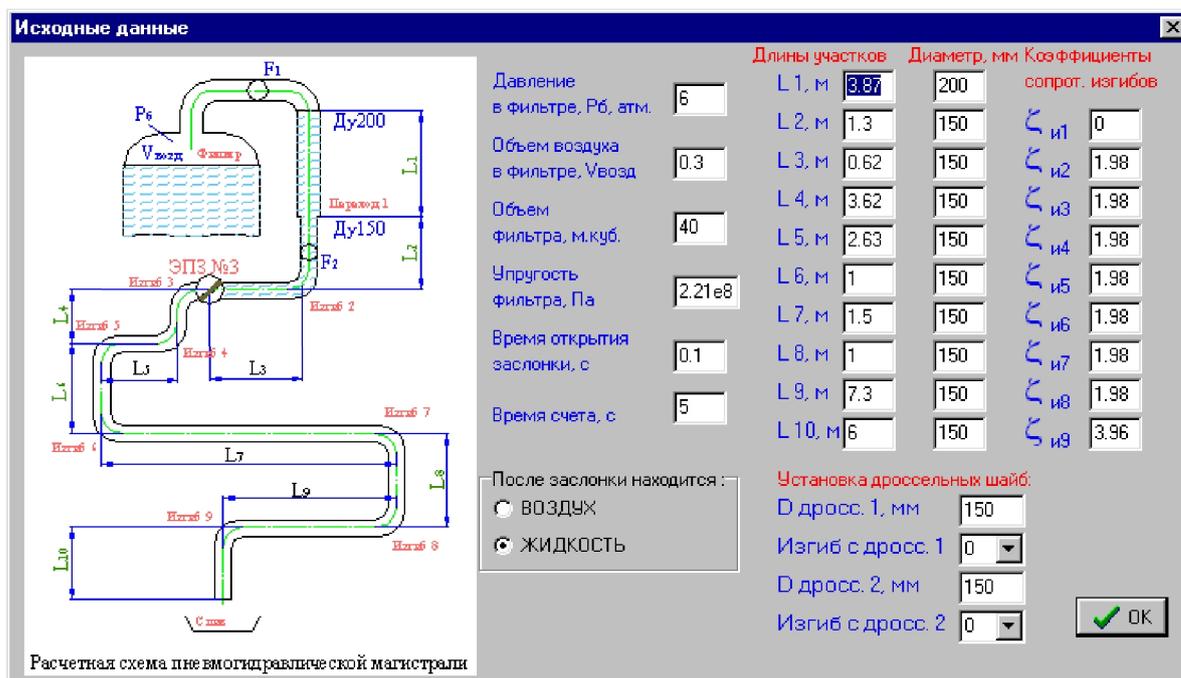


Рис. 3.2. Окно ввода исходных данных для гидродинамического расчета

При выборе пункта «Вывод результатов в файл» на экране появляется окно запроса параметров для вывода в текстовый файл с расширением *.txt (рисунок 3.3).

По умолчанию выводятся все параметры, исключение параметров для вывода осуществляется путем снятия метки соответствующего параметра щелчком левой кнопки мыши. Просмотр содержимого текстового файла осуществляется стандартными средствами операционной среды Windows95 или при нажатии клавиши «F3» в программной оболочке Norton Commander.

Пункт «О программе» выводит сведения о названии программного продукта, его рабочей версии и разработчиках.

При выборе пункта «Выход» в главном меню осуществляется выход из программы.

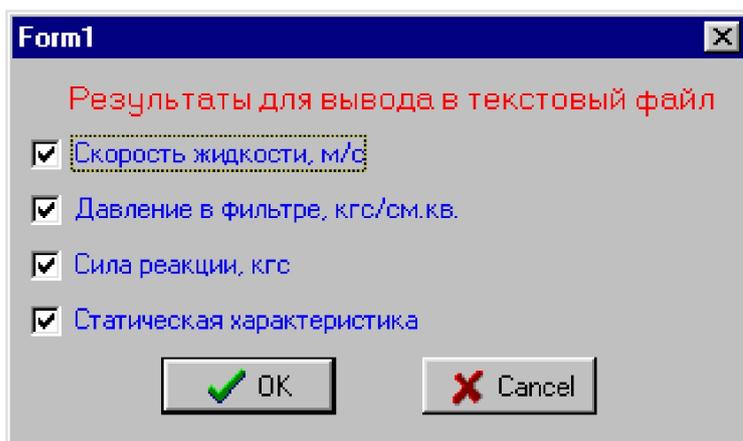


Рис. 3.3. Запрос параметров для вывода результатов расчета в текстовый файл

Перед просмотром результатов расчета необходимо выполнить пункт меню «**Расчет**» или щелкнуть левой кнопкой мыши по соответствующей пиктограмме в наборном поле. Вывод расчетных зависимостей давления в емкости, скорости потока жидкости, пройденного условного пути, проходного сечения клапана, сил реакций потока жидкости в изгибах трубопроводной магистрали от времени и зависимости статического расхода от давления в емкости осуществляется путем выбора манипулятором «мышь» соответствующей пиктограммы в наборном поле (рис. 3.4).

Для удобства работы в наборном поле присутствует пиктограмма, обеспечивающая копирование графика, представленного в главном окне программы в буфер для последующей вставки в такие приложения, как Microsoft Word и Microsoft Excel.

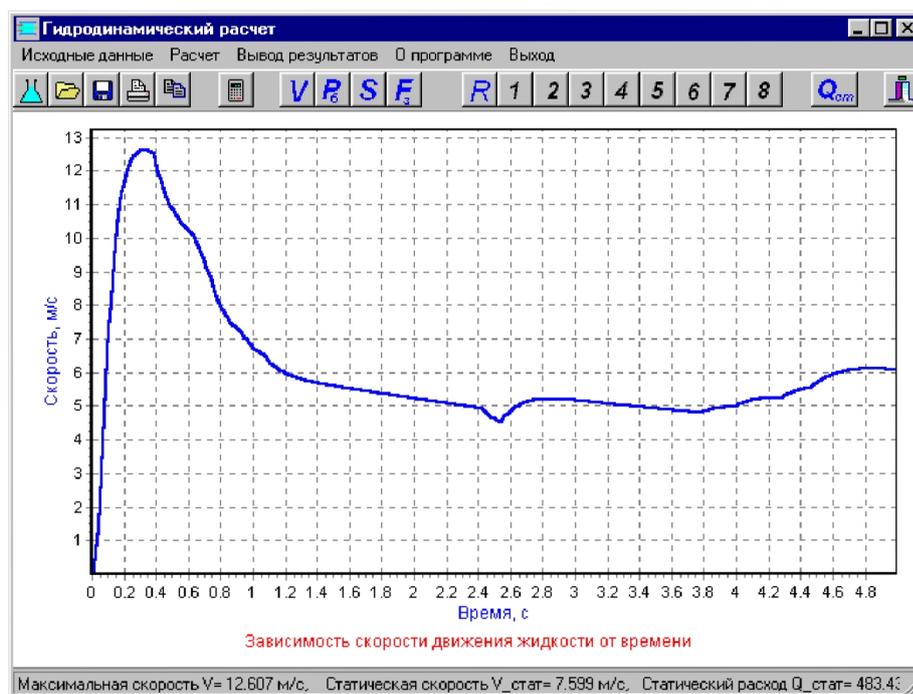


Рис. 3.4. Пример графика-результата расчета в главном окне

Вывод графика на печать осуществляется щелчком левой кнопки мыши на пиктограмме принтера. График печатается повернутым на 90° (ориентация страницы - «ландшафт»).

Все пиктограммы в наборном поле снабжены подсказками, которые появляются при нахождении на них курсора мыши.

4 ПРИМЕР ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ТРУБОПРОВОДНОЙ МАГИСТРАЛИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Теоретический анализ динамических процессов проводился на основе расчета скорости движения жидкости, давления в емкости и сил реакции потока жидкости в изгибах труб при различных скоростях открытия электропневмоклапана №3 (см. рис. 1.3). В качестве базовых исходных данных при расчете принимались номинальные значения параметров, приведенных на рис. 3.2.

Объем воздушной подушки до $0,01 \text{ м}^3$ практически не оказывает влияние на динамические процессы и силы реакции потока жидкости в

изгибах трубопровода. Начиная с объема $0,01 \text{ м}^3$ происходит интенсивный рост сил реакции жидкости (рис. 4.1), который завершается при объеме воздушной подушки $3...4 \text{ м}^3$. Наибольшая сила реакции жидкости наблюдается в первых трех изгибах. Так при увеличении объема газовой подушки с $0,05 \text{ м}^3$ до $0,5 \text{ м}^3$ сила реакции потока жидкости во втором изгибе увеличилась с 1700 Н до 2000 Н .

Длительность открытия клапана №3 начинает влиять на динамический процесс, начиная с $0,1 \text{ с}$ (рис. 4.2). Чем больше длительность открытия клапана, тем меньше силы реакции жидкости в изгибах трубопровода.

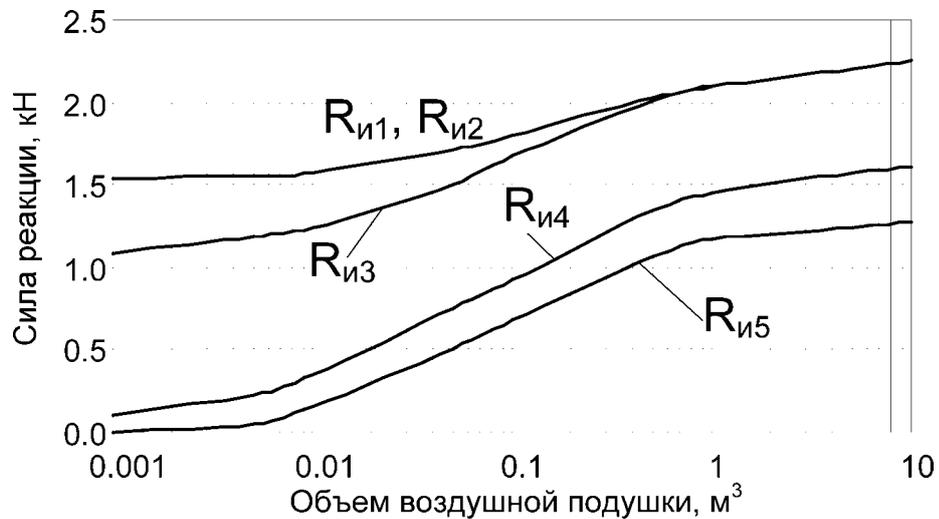


Рис. 4.1. Зависимость сил реакции потока жидкости $R_{и1}$, $R_{и2}$, $R_{и3}$, $R_{и4}$, $R_{и5}$ в изгибах трубопровода от объема воздушной подушки при предварительном воздушном заполнении трубопроводной магистрали, давлении в емкости $0,6 \text{ МПа}$ и длительности открытия клапана $0,1 \text{ с}$



Рис. 4.2. Зависимость максимальной силы реакции потока жидкости во втором изгибе трубопровода от длительности открытия клапана №3 при

первоначально воздушном (1) и жидкостном (2) заполнении трубопроводной магистрали, давлении в емкости 0,6 МПа, объеме воздушной подушки - 0,3 м³

Например, при предварительном воздушном заполнении трубопроводной магистрали и увеличении длительности открытия клапана с 0,1 с до 4 с сила реакции потока жидкости во втором изгибе уменьшилась с 2000 Н до 500 Н. При предварительном жидкостном заполнении трубопроводной магистрали сила реакции жидкости примерно в 4 раза меньше по сравнению с предварительным воздушным ее заполнением. Длительность открытия клапана при предварительном жидкостном заполнении слабо влияет на силы реакции жидкости в изгибах труб. Таким образом, для исключения возникновения повышенных гидродинамических сил реакции жидкости на трубопроводы необходимо тщательно заполнять емкость и трубопроводную магистраль жидкостью. Длительность открытия клапана должна быть не менее 3...5 с.

Чем больше остаточное давление в емкости, тем больше реакция жидкости в изгибах трубопроводов (рис. 4.3). Так, во втором изгибе при предварительном воздушном заполнении магистрали и увеличении давления в емкости с 0,2 МПа до 0,6 МПа сила реакции струи увеличилась с 350 Н до 2000 Н.



Рис. 4.3. Зависимость максимальной силы реакции потока жидкости во втором изгибе $R_{и2}$ при предварительном воздушном (1) и жидкостном (2) заполнении трубопроводной магистрали от давления в емкости при объеме воздушной подушки 0,3 м³ и длительности открытия клапана 0,1 с

Поэтому технологический цикл должен быть построен таким образом, что остаточное давление в емкости было минимально, если это не предусмотрено по технологии изучаемой системы.

Чем меньше диаметр трубопроводной магистрали, тем меньше сила реакции жидкости (рис. 4.4), однако при этом одновременно возрастают изгибные напряжения в трубопроводе, причем в кубической зависимости. К тому же при уменьшении диаметра трубопровода снижается пропускная его способность (рис. 4.5), что может отразиться на технологическом цикле. Применение местных сопротивлений в виде диафрагм, устанавливаемых перед клапаном (со стороны емкости), существенно может снизить силы реакции жидкости (рис. 4.6).

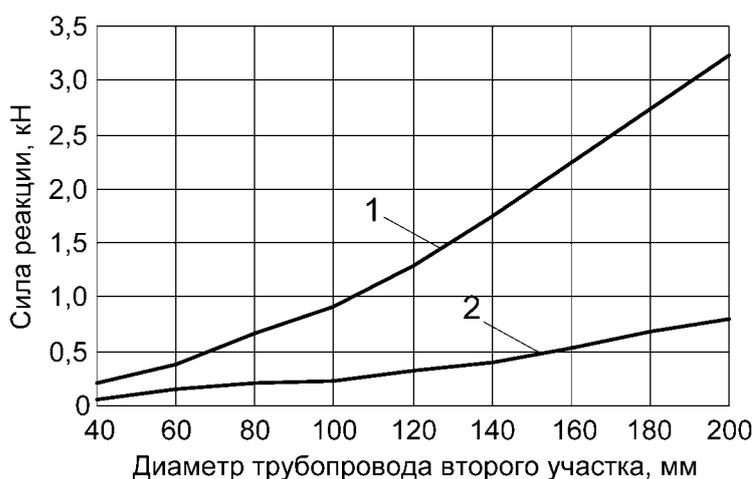


Рис. 4.4. Зависимость силы реакции потока жидкости во втором изгибе трубопровода $R_{и2}$ от диаметра трубопроводной магистрали при предварительном заполнении воздухом (1) и жидкостью (2), давлении в емкости 0,6 МПа, объеме воздушной подушки $0,3 \text{ м}^3$ и длительности открытия клапана 0,1 с

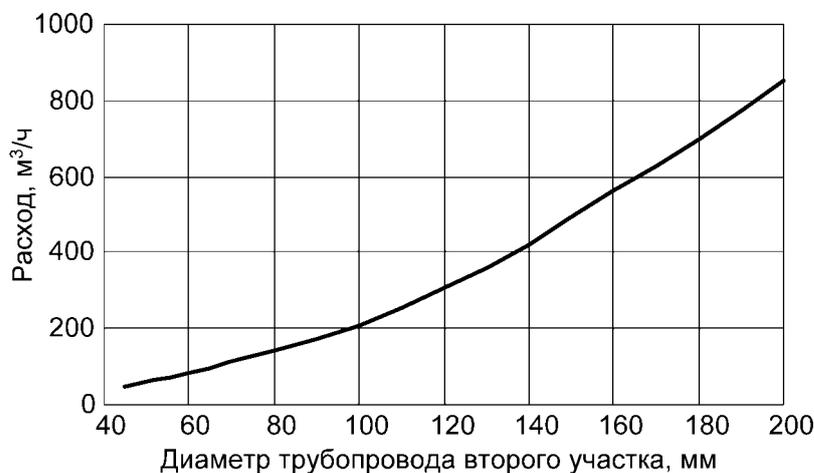


Рис. 4.5. Зависимость статического расхода жидкости от диаметра трубопроводной магистрали в выходном участке при длине первого участка $D_{y200} - 3,87 \text{ м}$ и второго участка $D_{y150} - 25 \text{ м}$ с восемью изгибами при давлении в емкости 0,6 МПа, объеме воздушной подушки $0,3 \text{ м}^3$ и длительности открытия клапана 0,1 с

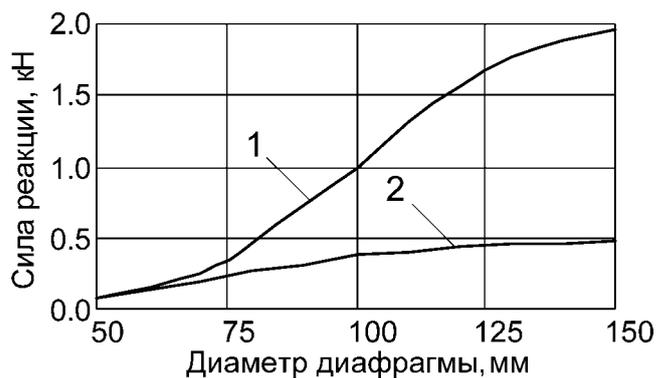


Рис. 4.6. Зависимость силы реакции потока жидкости во втором изгибе трубопровода $R_{и2}$ от диаметра диафрагмы на входе в клапан при предварительном воздушном (1) и жидкостном (2) заполнении трубопроводной магистрали, давлении в емкости 0,6 МПа, объеме воздушной подушки 0,3 м³ и длительности открытия клапана 0,1 с

Например, применение диафрагмы с диаметром 80 мм у клапана №3 позволило снизить силу реакции струи жидкости во втором изгибе при предварительном заполнении воздухом с 2000 Н до 500 Н. Целесообразно устанавливать две диафрагмы: одну - перед клапаном №3, а другую – на середине трубопроводной магистрали за клапаном. Размещение дросселя перед клапаном позволяет снизить ускорение жидкостной пробки в начале переходного процесса, а на середине трубопроводной магистрали обеспечит равномерное распределение сил реакции потока жидкости до и после диафрагмы. Окончательный выбор места установок диафрагм может быть осуществлен после контрольного расчета переходных процессов в трубопроводной магистрали со смещением места установки второй диафрагмы относительно середины магистрали в ту или иную стороны в зависимости от числа изгибов труб с обеих сторон.

При применении диафрагм в качестве средств снижения интенсивности динамических процессов в трубопроводной магистрали уменьшается ее пропускная способность. Поэтому выбор диаметра диафрагмы должен проводиться с учетом требуемой расходной характеристики трубопроводной магистрали. Для этого в программе предусмотрен расчет статической характеристики трубопроводной магистрали, по которой можно определить возможность применения диафрагмы с диаметром, удовлетворяющим обоим

условиям: погашения скорости потока жидкости, следовательно, и сил реакции жидкости; обеспечения требуемой ее пропускной способности.

5 Содержание отчета

В отчете по лабораторной работе должны быть графики расходно-перепадной характеристики магистрали, изменение площади проходного сечения клапана во времени, изменение силы реакции потока жидкости в изгибе с наибольшей амплитудой во времени до и после установки диафрагмы и другие результаты в соответствии с заданием на проведение исследований.

Для освоения методикой и программным обеспечением необходимо вначале провести исследования трубопроводной магистрали с исходными данными, приведенными в загрузочном файле, но при первоначальном давлении в баке 0,2 МПа и 8 МПа. Проанализировать влияние скорости открытия клапана и других параметров на максимальную силу реакции потока жидкости в изгибах трубопровода.

При анализе динамических процессов в трубопроводной магистрали стендовой системы для испытаний ЖРД следует учесть, что слив компонента топлива из бака осуществляется с днища. В описанной методике и пневмогидравлической схеме это можно реализовать, если объем воздушной подушки считать нулевым, за счет увеличения объемной податливости полости бака задавать сохранность или изменение в нем давления. Диаметры участков трубопровода системы топливо питания двигателя можно задавать в пределах 50...200 мм, а общую длину – до 30 м. Число изгибов трубопровода можно задавать в соответствии с заданием в пределах от 2 до 9 изгибов с учетом того, что, если в том или ином месте изгиб отсутствует, то в исходных данных следует принять коэффициент сопротивления изгиба равным нулю. Однако следует также учесть, что нужно задавать параметры всех участков трубопровода, комбинируя их таким образом, чтобы реализовалась исследуемая магистраль. Коэффициенты гидравлического

сопротивления изгибов, заложенные в программе, соответствуют повороту трубопровода под прямым углом. Если требуется реализовать меньший угол, то следует назначать коэффициенты сопротивления изгибов, взяв их справочников [11]. Однако расчет сил реакции потока жидкости будет производиться как для изгибов под прямым углом.

6. Вопросы для проверки знаний по динамике трубопроводной магистрали

1. Как зависят скорость потока жидкости и максимальная сила его реакции в изгибах трубопровода от давления в баке при газовом заполнении трубопроводной магистрали и резком открытии клапана?
2. Как влияет объем газовой подушки на максимальную силу реакции потока жидкости в изгибах трубопровода при газовом заполнении трубопроводной магистрали и резком открытии клапана?
3. Как влияет скорость открытия клапана на максимальную силу реакции потока жидкости в изгибах трубопровода при газовом заполнении трубопроводной магистрали?
4. Как влияет уровень столба жидкости перед клапаном (вертикальный участок) на максимальную силу реакции потока жидкости в изгибах трубопровода при газовом заполнении трубопроводной магистрали и резком открытии клапана?
5. Как влияет предварительное заполнение жидкостью трубопровода за клапаном на силы реакции потока жидкости в изгибах трубопровода?
6. Как влияет установка диафрагмы в изгибах трубопровода на скорость потока жидкости и, как следствие, на максимальную силу реакции потока жидкости при резком открытии клапана?
7. Какие мероприятия можно предложить для снижения сил реакции потока жидкости в изгибах трубопровода при резком открытии клапана?
8. От каких факторов зависят силы реакции потока жидкости в изгибах трубопровода при резком открытии клапана?
9. Как влияет установка диафрагмы в изгибах трубопровода на его расходно-перепадную характеристику?

10. Путем изменения длительности открытия клапана добейтесь уменьшения максимальной силы реакции потока жидкости в два раза при газовом заполнении трубопроводной магистрали.
11. Путем изменения длин участков трубопроводной магистрали проанализируйте их влияние на максимальную силу реакции потока жидкости в изгибах трубопровода при резком открытии клапана.

Список использованных источников

1. Бахвалов, Н.С. Численные методы / Н.С. Бахвалов. - М.: Наука, 1975. - 632с.
2. Воробей, В.В. Технология производства ракетных двигателей. Учебник / В.В. Воробей, В.Е. Логинов. – М.: МАИ, 2001. – 496 с.
3. Герц, Е.В. Расчет пневмоприводов / Е.В. Герц, Г.В. Крейнин. - М.: Машиностроение, 1975. – 272 с.
4. Гимадиев, А.Г. Обеспечение минимальных гидродинамических нагрузок на трубопроводы при неустановившемся движении жидкости в системах химводоочистки / А.Г. Гимадиев, Е.С. Слива, А.З. Ермошкин, М.А. Гимадиев // Тезисы докладов. Проблемы и перспективы развития двигателестроения в Поволжском регионе. - Самара: СГАУ, 1999. – С. 370.
5. Гимадиев, А.Г. О неустановившемся движении жидкости и газа через дросселирующие элементы / А.Г. Гимадиев. - Самарский авиац. - ин-т.- Самара, 1991. 30 с.-Деп.в ВИНТИ 11.09.91, №3949-В91
6. Гимадиев, М.А. Экспериментальное исследование гидродинамических характеристик трубопроводной магистрали, частично заполненной воздушной средой / М.А. Гимадиев. - Самарский госуд. аэрокосм.. ун-т.- Самара, 2005 – 21 с. - Деп. в ВИНТИ 24.01.2005, №24-В2005.
7. Гладышев, М.Т. Неустановившиеся движения жидкости в трубах и тонкостенных оболочках / М.Т. Гладышев // Инж.-физ. ж. , 1995. - № 6. - С. 960-967.
8. Гликман, Б.Ф. Математические модели пневмогидравлических систем / Б.Ф. Гликман. - М.: Наука, 1986. - 368 с.
9. Жуковский, А.Е. Испытания жидкостных ракетных двигателей. Учебное пособие для авац. специальностей вузов / А.Е. Жуковский, В.С. Кондрусев, В.Я. Левин, В.В. Окорочков; Под ред. В.Я. Левина – М.: Машиностроение, 1981. - 199 с.
10. Жуковский, Н.Е. О гидравлическом ударе в водопроводных трубах / Н.Е. Жуковский. Избранные сочинения, т.II, ОГИЗ, Гос. изд-во технико-теор. литературы, 1948 г.
11. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик // Под ред. М.О.Штейнберга. – 3-ье изд. перераб. и доп. –М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
12. Козырева, Т.С. Реализация оптимального управления потоком для снижения гидроудара / Т.С. Козырева, О.Ф. Долгова // Изв. вузов. Авиац. техн. — 1996. — № 3. — С. 59-62.

13. Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. - М.: Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. – М.: Дрофа, 2003. - 676 с.
14. Лямаев, Б.Ф. Стационарные и переходные процессы в сложных гидросистемах / Б.Ф. Лямаев, Т.П. Небольсин, В.А. Нелюбов. - М.: Машиностроение, 1978. - 192 с.
15. Лямаев, Б.Ф. Применение современных информационных технологий при расчете гидравлического удара в системах водоснабжения / Б.Ф. Лямаев, Г.Г. Крицкий, Г.Л. Никитин // ВСТ: Водоснабж. и сан. техн.. 2003. - № 10. - С. 12-15.
16. Моисеев, В.А. Технология производства жидкостных ракетных двигателей / В.А. Моисеев, В.А. Тарасов, В.А. Колмыков, А.С. Филимонов. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 380 с.
17. Полухин, Д.А. Оработка пневмогидросистем двигательных установок ракет-носителей и космических аппаратов с ЖРД / Д.А. Полухин, В.М. Орещенко, В.А. Морозов. – М.: Машиностроение, 1987. – 248 с.
18. Попов, Д.Н. Механика гидро - и пневмоприводов. Учебник для вузов / Д.Н. Попов. - Изд-во МГТУ им. Баумана, 2008. -382 с.
19. Прандтль, Л. Гидроаэромеханика / Л. Прандтль. - М.: Издательство иностранной литературы, 1951. – 576 с.
20. Производственная инструкция по обслуживанию химводоочистки подпитки теплосети. - Самара: Самарская ТЭС, 1997. – 30 с.
21. Чарный, И. А. Неустановившееся течение реальной жидкости в трубах / И.А. Чарный. - М.:Недра, 1975. - 223 с.
22. Шейпак, А.А. Гидравлика и гидропневмопривод. Часть 1: Основы механики жидкости и газа / А.А. Шейпак. - М.: МГИУ, 2006. – 362 с.
23. Шорин, В.П. Моделирование гидродинамических процессов в частично заполненной воздухом трубопроводной магистрали / В.П. Шорин, М.А. Гимадиев // Вестник СГАУ. – Самара, 2006. - №1(9). – С. 207-213.
24. Шорин, В.П. Алгоритм и программа расчета гидродинамических параметров частично заполненной воздухом трубопроводной магистрали / В.П. Шорин, М.А. Гимадиев // Вестник СГАУ. – Самара, 2006. - №1(9). – С. 214-218.