

АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЧАСТИЧНО ЗАПОЛНЕННОЙ ВОЗДУХОМ ТРУБОПРОВОДНОЙ МАГИСТРАЛИ

© 2006 В. П. Шорин, М. А. Гимадиев

Самарский государственный аэрокосмический университет

Изложен алгоритм программного обеспечения, позволяющего рассчитывать гидродинамические параметры столба жидкости в частично заполненной воздухом пластмассовой трубопроводной магистрали, подключенной к емкости с воздушной полостью над жидкостью при открытии электропневмозаслонки (ЭПЗ). Анализируется влияние объема полости в емкости и давления в ней, времени открытия заслонки, степени заполнения трубопроводной магистрали жидкостью, параметров трубопроводов и размеров диафрагм на скорость движения столба жидкости по трубопроводам и возникающие при этом силы реакции в изгибах труб. Даются рекомендации по снижению гидродинамических нагрузок на трубопроводы.

Расчет гидродинамических параметров потока жидкости в частично заполненной воздухом трубопроводной магистрали при открытии заслонки и опорожнении емкости проводится на основе решения нелинейных интегрально-дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами, выведенными в [1]. Поскольку решение таких уравнений в явном виде не представляется возможным, применен метод последовательных приближений с представлением уравнений в разностной форме.

На основании выведенных в [1] формул и методики составлены алгоритм и программа расчета на ПЭВМ гидродинамических параметров в диалоговом режиме с вводом исходных данных с клавиатуры и выводом результатов на дисплей и при необходимости на принтер.

Алгоритм расчета скорости жидкости в трубопроводе построен таким образом, что определяется момент прохождения жидкостной пробки через тот или иной изгиб трубопровода. Если жидкость не проходит через изгиб в данный момент, то сила реакции потока жидкости равна нулю, а если проходит, то сила реакции потока жидкости в изгибе определяется по i -ой скорости. Таким образом, формируется массив данных, на основании которого строятся графики и анализируются гидродинамические нагрузки в изгибах трубопровода.

Программа написана под операционную систему Windows [2] и содержит испол-

няемый модуль, реализующий интерфейс пользователя и осуществляющий непосредственно вычислительные операции.

Исходными данными для расчета являются давление в фильтре; объем воздушной полости в емкости; объем емкости и ее объемная упругость; время открытия заслонки; время счета; состояние среды за заслонкой (воздух или жидкость); длины и диаметры участков трубопроводов; коэффициенты сопротивления изгибов трубопровода; номера изгибов, в которых установлена диафрагма; диаметр проходного сечения диафрагм. В дополнение к [1] алгоритмически учтен тот факт, что диаметры трубопроводов различных участков могут иметь разные диаметры.

Программа позволяет рассчитывать следующие параметры трубопроводной магистрали: площадь открытия заслонки во времени; скорость потока жидкости в трубопроводе от времени; изменение давления в емкости от времени; пройденный столбом жидкости путь; силы реакции потока жидкости в изгибах трубопровода от времени; гидравлическую расходную характеристику трубопроводной магистрали.

Теоретический анализ гидродинамических процессов в трубопроводной магистрали проводился на основе расчета скорости движения жидкости, давления в фильтре и сил реакции потока жидкости в изгибах труб при различных скоростях открытия ЭПЗ [1]. Была проверена степень адекватности расчетной модели реальным процессам (рис. 1, 2).

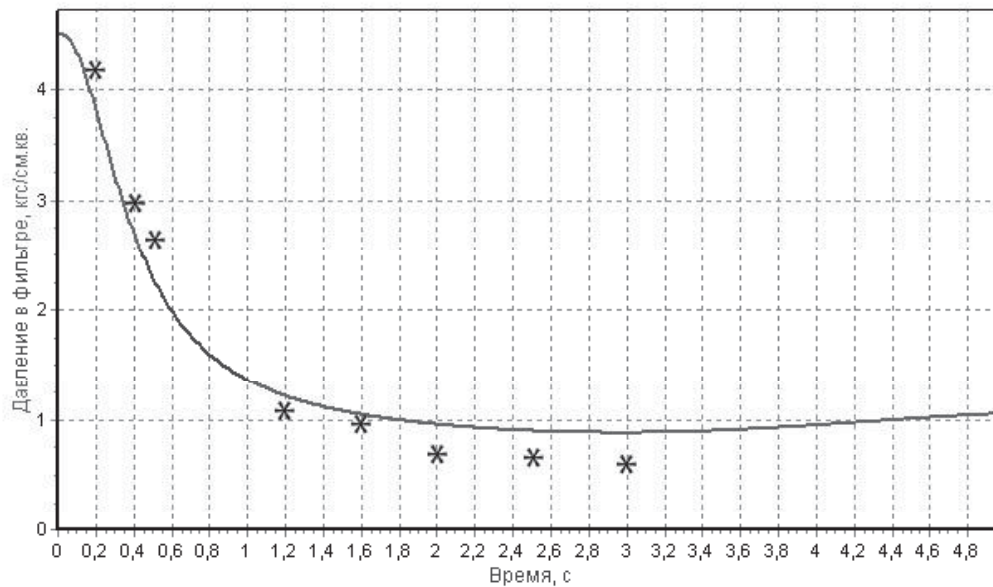


Рис. 1. Зависимость давления в емкости от времени при предварительном воздушном заполнении участка трубопровода за ЭПЗ: $P_{\phi,0} = 4,5 \text{ кгс/см}^2$, $V_{z,0} = 0,025 \text{ м}^3$: - - - - расчет; * * * - эксперимент

Максимальная скорость потока жидкости, рассчитанная и определенная по перепаду давления на третьем изгибе трубопровода, отличаются не более чем на 10 % (рис. 2). Известно, что скорость потока жидкости является одним из основных параметров, определяющих гидродинамические процессы в трубопроводе. Поэтому при таком совпадении расчетных и экспериментальных данных можно считать разработанную математическую

модель приемлемой для описания реальных процессов.

Дальнейший анализ проводился по результатам расчета гидродинамических процессов в трубопроводной магистрали с изменяющимися базовыми параметрами.

Расчеты и анализ показали, что объем воздушной полости в емкости до $0,01 \text{ м}^3$ не оказывает влияния на гидродинамические процессы и силы реакции потока жидкости в

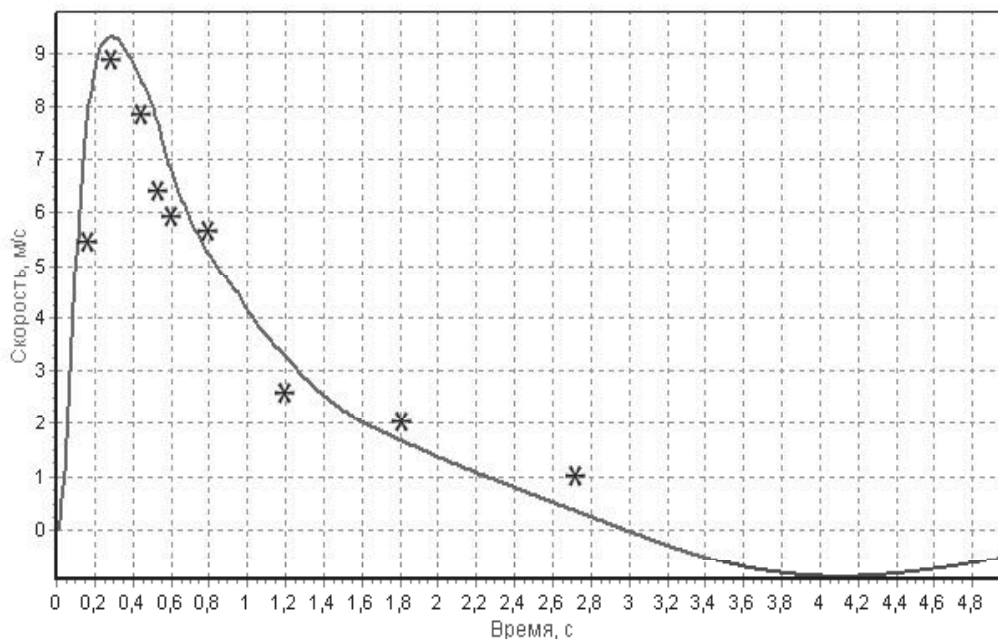


Рис. 2. Зависимость скорости потока жидкости от времени при предварительном воздушном заполнении трубопровода: $P_{\phi,0} = 4,5 \text{ кгс/см}^2$, $V_{z,0} = 0,025 \text{ м}^3$: - - - - расчет; * * * - эксперимент

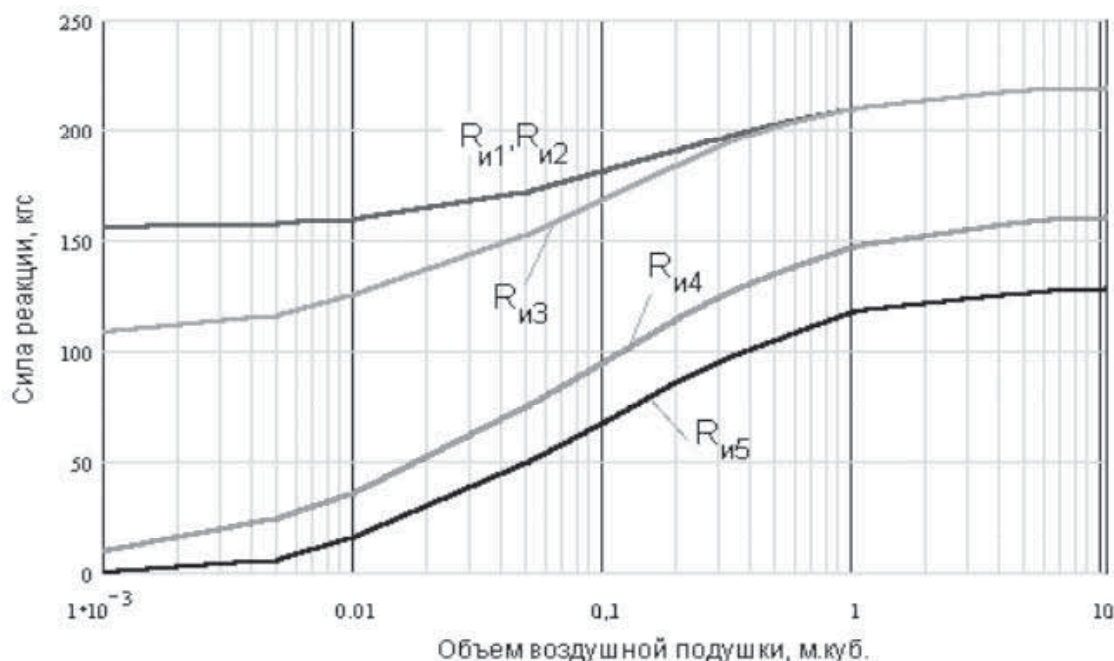


Рис. 3. Зависимость сил реакции потока жидкости $R_{и1}$, $R_{и2}$, $R_{и3}$, $R_{и4}$, $R_{и5}$

изгибах трубопровода (рис. 3). С объема воздушной полости $0,01 \text{ м}^3$ начинается рост сил реакции потока жидкости в изгибах трубопровода при воздушном заполнении выходного участка трубопровода, давлении в фильтре 6 кгс/см^2 и времени открытия заслонки $t_3 = 0,1 \text{ с}$.

Наибольшая сила реакции потока жидкости наблюдается в трех начальных 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 170 кгс до 200 кгс .

Длительность открытия ЭПЗ начинает влиять на гидродинамический процесс, начиная с $0,1 \text{ с}$ (рис. 4). Чем больше время открытия заслонки, тем меньше силы реакции жидкости в изгибах трубопровода. Так, во втором изгибе при воздушном заполнении сливного трубопровода и увеличении времени открытия заслонки с $0,1 \text{ с}$ до 4 с сила реакции жидкости уменьшилась с 200 кгс до 50 кгс . При жидкостном заполнении выходного участка трубопровода сила реакции жидкости примерно в 4 раза меньше по сравнению с воздушным заполнением. Длительность открытия заслонки при предварительном жидкостном заполнении слабо влияет на

силы реакции жидкости в изгибах труб. Таким образом, для исключения повышенных гидродинамических сил реакции потока жидкости на трубопроводы необходимо тщательно заполнять емкость и трубопроводы жидкостью. Длительность открытия заслонок должна быть не менее 5 с .

Чем больше давление в фильтре, тем больше реакция жидкости в изгибах трубопроводов. Так, при воздушном заполнении магистрали за ЭПЗ при увеличении давления в фильтре с 2 кгс/см^2 до 6 кгс/см^2 сила реакции струи на третьем изгибе увеличилась с $20,5 \text{ кгс/см}^2$ до $110,9 \text{ кгс/см}^2$. Поэтому технологический цикл должен быть построен таким образом, чтобы остаточное давление в емкости было минимально.

Чем меньше диаметр выходного участка трубопровода, тем меньше сила реакции жидкости, однако при этом одновременно возрастают изгибные напряжения в трубопроводе, причем в кубической зависимости. К тому же при уменьшении диаметра трубопровода снижается пропускная его способность, что может отразиться на технологическом цикле. Поэтому можно считать, что трубопровод с условным диаметром 150 мм вполне приемлем для сливных магистралей блока химводоочистки.

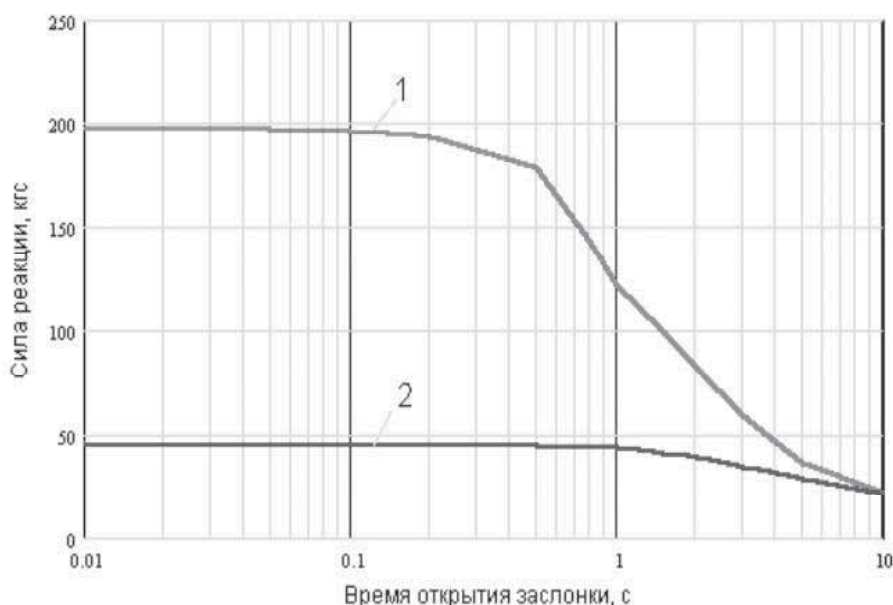


Рис. 4. Зависимость максимальной силы реакции потока жидкости во втором изгибе трубопровода от длительности открытия ЭПЗ при воздушном (1) и жидкостном (2) заполнении сливной магистрали, давление в фильтре 6 кгс/см², объем воздушной полости - 0,3 м³

Применение местных сопротивлений в виде диафрагм, устанавливаемых перед заслонкой, существенно может снизить силы реакции жидкости. Например, применение диафрагмы с диаметром 80 мм у ЭПЗ позволило снизить силу реакции потока жидкости во втором изгибе при заполнении воздухом выходного участка трубопровода с 200 кгс до 50 кгс. Целесообразно устанавливать две диафрагмы: одну перед ЭПЗ, а другую - в выходном участке. Однако при этом так же, как и в случае уменьшения диаметра труб, снижается пропускная способность сливной магистрали. Поэтому выбор диаметра диафрагмы должен осуществляться с учетом пропускной способности трубопроводной магистрали. Для этого в программе предусмотрен расчет расходно-перепадной (статической) характеристики трубопроводной магистрали, по которой можно определить возможность применения диафрагмы с диаметром, удовлетворяющим обоим условиям: погашению скорости потока жидкости, а, следовательно, и сил реакции жидкости и обеспечению требуемой пропускной способности.

На основании теоретических исследований, подтвержденных экспериментами, можно рекомендовать следующие мероприя-

тия, реализация которых даст возможность защитить пластмассовые трубы от повышенных гидродинамических нагрузок при любых скоростях открытия заслонок, при больших объемах воздушной полости в емкости:

- полное заполнение выходного участка трубопровода жидкостью, что может быть выполнено либо сливом в емкость, либо установкой в сливной магистрали гидрозатвора;

- применение в трубопроводных магистралях диафрагм, диаметр которых рассчитывается по разработанной программе с учетом требуемого гашения сил реакции струи и обеспечения необходимого по технологическому циклу расхода жидкости в данной магистрали, причем целесообразно устанавливать две диафрагмы: одну перед ЭПЗ, а другую - в выходном участке.

Список литературы

1. Шорин В. П., Гимадиев М. А. Математическое моделирование гидродинамических процессов в частично заполненной воздухом трубопроводной магистрали // Вестник СГАУ. - Самара, 2006. № 1(9). - С. 207-213.
2. Винтер П. Microsoft Word 97: справочник. - С.-Пб.: Питер, 1999.

ALGORITHM OF CALCULATING HYDRODYNAMIC PARAMETERS OF A PIPELINE PARTIALLY FILLED WITH AIR

© 2006 V. P. Shorin, M. A. Gimadiyev

Samara State Aerospace University

The paper presents a software algorithm which enables calculating hydrodynamic parameters of a liquid in a plastic main pipeline partially filled with air and connected up to a tank with an air cavity over the liquid when the electro pneumatic gate is opened. The influence of cavity volume and pressure in the tank, the time of opening the gate, the degree of filling the main line with liquid, pipeline parameters and diaphragm dimensions on the speed of liquid column moving along the lines and reaction forces emerging in pipe bends is analysed. Recommendations are given how to reduce hydrodynamic loads on the pipelines.