

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).

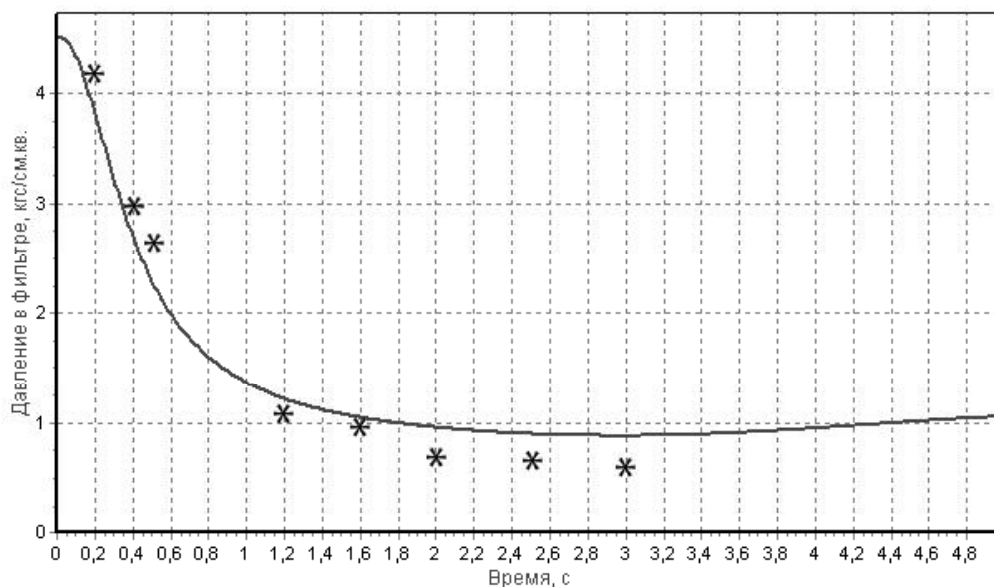


Рис. 1. Зависимость давления в емкости от времени при предварительном воздушном заполнении участка трубопровода за ЭПЗ: $P_{\phi,0} = 4,5 \text{ кгс/см}^2$, $V_{z,0} = 0,025 \text{ м}^3$: --- - расчет; *** - эксперимент

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

кю модель приемлемой для описания реальных процессов.

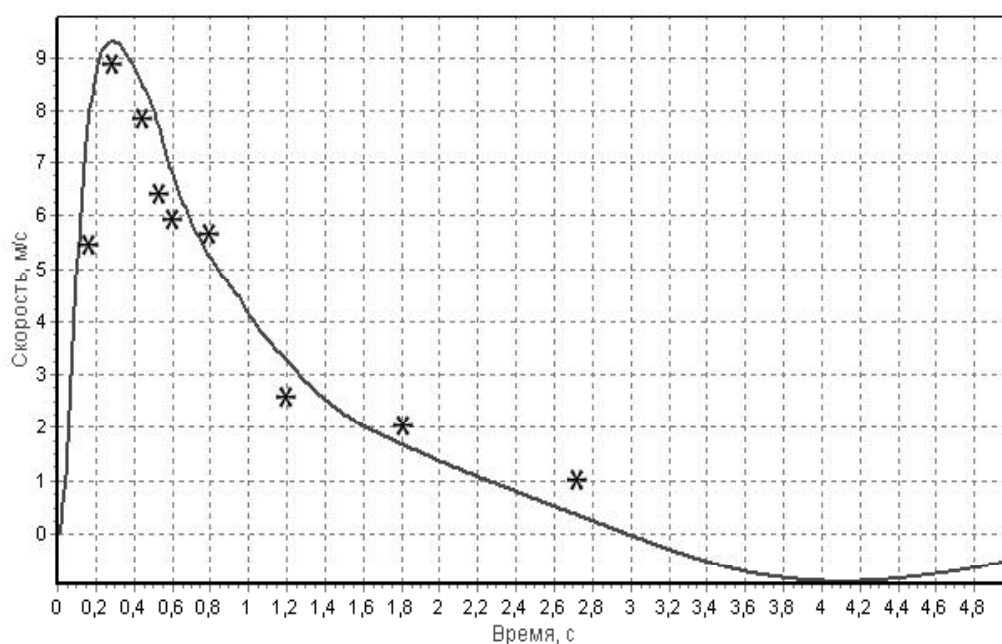


Рис. 2. Зависимость скорости потока жидкости от времени при предварительном воздушном заполнении трубопровода: $P_{\phi,0} = 4,5 \text{ кгс/см}^2$, $V_{z,0} = 0,025 \text{ м}^3$: --- - расчет; *** - эксперимент

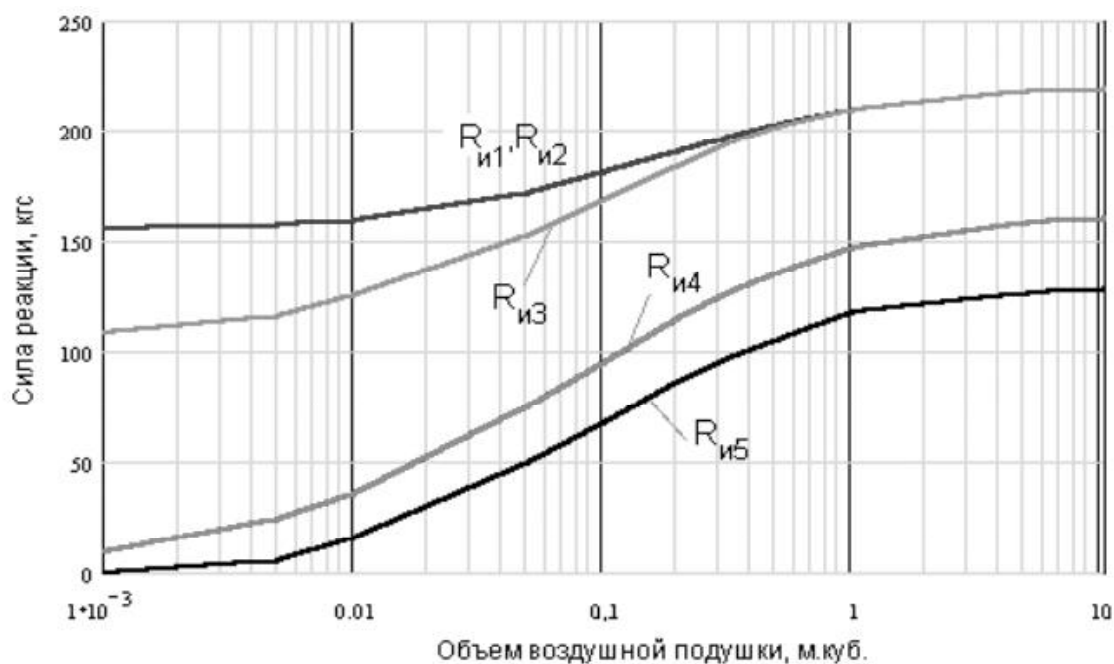


Рис. 3. Зависимость сил реакции потока жидкости $R_{и1}$, $R_{и2}$, $R_{и3}$, $R_{и4}$, $R_{и5}$

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.

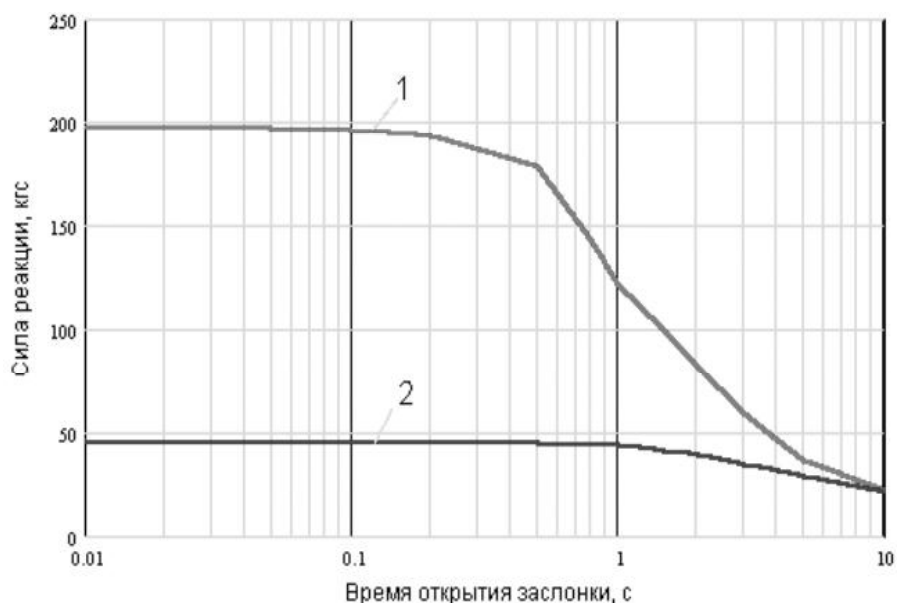


Рис. 4. Зависимость максимальной силы реакции потока жидкости во втором изгибе трубопровода от длительности открытия ЭПЗ при воздушном (1) и жидкостном (2) заполнении сливной магистрали, давление в фильтре 6 кгс/см², объем воздушной полости - 0,3 м³

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.