МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

КАФЕДРА «ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ»

УСТРОЙСТВО И ОСНОВЫ РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ТРУБОПРОВОДА

Методические указания к выполнению контрольной работы

РПК
"Политехник"
Волгоград
2004

УДК 66.01.001

Рецензенты:

А. Б. Голованчиков

Печатается по решению редакционно-издательского совета
Волгоградского государственного технического университета

Устройство и основы расчета технологического трубопровода: Метод. указания / Сост. В. А. Балашов, О. Л. Ковалев, Д. А. Анохин, Е. А. Беднарская, П. В. Мишта / Волгоград, гос. техн. ун-т. - Волгоград, 2004. – 27 с.

Рассматриваются вопросы устройства технологических трубопроводов. Приводятся основные методы расчета технологического трубопровода и указания к подбору насоса для перекачиваемой по трубопроводу среды.

Рис. 13.

© Волгоградский государственный
технический университет, 2004

ВВЕДЕНИЕ

Технологическими трубопроводами называются такие трубопроводы промышленных предприятий, по которым транспортируют сырье, полупродукты и готовые продукты, отработанные реагенты, воду, топливо и другие материалы, обеспечивающие ведение технологического процесса.

С помощью технологических трубопроводов на химических предприятиях перемещают продукты как между отдельными аппаратами в пределах одного цеха или технологической установки, так и между технологическими установками и отдельными цехами, подают исходное сырье из хранилищ или транспортируют готовую продукцию к месту ее хранения.

На предприятиях химической промышленности технологические трубопроводы являются неотъемлемой частью технологического оборудования. Затраты на их сооружение в отдельных случаях могут достигать 30% от стоимости всего предприятия. На некоторых химических заводах протяженность трубопроводов измеряется десятками и даже сотнями километров. Бесперебойная работа технологических установок и химического предприятия в целом, качество выпускаемой продукции и безопасные условия работы технологического оборудования в значительной степени зависят от того, насколько грамотно спроектированы и эксплуатируются трубопроводы и на каком уровне поддерживается их исправное состояние.

Применяемые в химической технологии и транспортируемые по трубопроводам сырьевые материалы и продукты обладают различными физико-химическими свойствами. Они могут находиться в жидком, пластичном, газо- или парообразном состоянии, в виде эмульсий, суспензий или газированных жидкостей. Температура этих сред может находиться в пределах от низких минусовых до чрезвычайно высоких, давление — от глубокого вакуума до десятков атмосфер. Эти среды могут быть нейтральными, кислыми, щелочными, горючими и взрывоопасными, вредными для здоровья и экологически опасными.

1. КЛАССИФИКАЦИЯ ТРУБОПРОВОДОВ

При выполнении гидравлических расчетов трубопроводов различают трубопроводы простые и сложные, короткие и длинные.

Трубопроводы, не имеющие по пути следования жидкости в трубе ответвлений для отбора или дополнительной подачи в трубопровод жидкости, называются простыми. К сложным относятся трубопроводы, состоящие из основной магистральной трубы и боковых ответвлений, образующих сеть трубопроводов различной конфигурации. Трубопроводы технологических установок химических предприятий в большинстве своем являются простыми.

Короткими считаются трубопроводы сравнительно небольшой длины, в которых потери напора в местных сопротивлениях составляют не менее 5-10% потерь напора на трение на линейных участках. Длинными считаются трубопроводы значительной протяженности, в которых потери напора на трение на линейных участках являются основными, потери же напора в местных сопротивлениях составляют менее 5-10% потерь напора на линейных участках. При расчете таких трубопроводов потери напора в местных сопротивлениях либо вовсе не учитываются, либо учитываются путем увеличения потерь напора на линейных участках на 5-10%. К длинным относят магистральные нефте- и газопроводы и водопроводные сети. Трубопроводы предприятий химической промышленности, по которым осуществляется перемещение технологических жидкостей и газов между аппаратами, цехами и технологическими установками, как правило, являются короткими.

2. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ТРУБОПРОВОДА

Технологический трубопровод являемся неотъемлемой частью технологической установки и его работу следует рассматривать во взаимосвязи с теми аппаратами и устройствами, для сообщения которых он предназначен. При анализе работы действующего, и выполнении расчетов вновь проектируемого технологического трубопровода химического предприятия, его следует рассматривать как систему, состоящую из начальной и заполняемой емкостей, сообщающихся с помощью трубопровода (рис. 1, см. прил.). По трубопроводу продукт перемещается из начальной емкости в заполняемую, с некоторым расходом q_v.

В действующем производстве реальным технологическим объектом начальной емкости может быть реактор или массообменный аппарат, после которых продукт химической реакции или массообменного процесса должен поступать на следующую стадию переработки. Начальной емкостью может быть и резервуар для хранения исходного сырья или накопления промежуточного продукта переработки, откуда это сырье или промежуточный продукт поступают на дальнейшую переработку. Технологическим объектом заполняемой емкости также может быть реактор или массообменный или иного назначения аппарат, в которые поступает продукт для проведения очередной стадии переработки, или резервуар для сбора и хранения готового продукта или накопления отработанного реагента.

Трубопровод, соединяющий начальную и заполняемую емкости, в самом общем случае конструктивно состоит из последовательно соединенных прямолинейных участков труб и местных сопротивлений (рис.2, см. прил.). Трубы отдельных прямолинейных участков могут быть одного или разных диаметров. Местные сопротивления представляют собою конструктивные элементы, в которых происходит изменение направления движения жидкости или площади поперечного сечения потока. Наиболее

распространенными типами местных сопротивлений являются: отводы, колена (угольники), внезапные и плавные расширения и сужения, запорные и регулирующие расход устройства (краны, задвижки, вентили), тройники, вход в трубу и выход из нее, обратные клапаны, расходомерные устройства и т.д. В состав трубопровода могут входить теплообменные аппараты и фильтры, если требуется, например, перемещаемую жидкость нагревать, или охлаждать, или очищать от посторонних включений.

На рис.3 (см. прил.) изображены варианты соединения трубопровода с начальной, а на рис.4 (см. прил.) - с заполняемой емкостью. Соединения являются типовыми для реальных аппаратов. Начальное сечение трубопровода 1-1, через которое жидкость из аппарата поступает в трубопровод, всегда располагается ниже уровня поверхности жидкости, заполняющей аппарат. Конечное сечение трубопровода 2-2 может располагаться как ниже уровня поверхности заполняющей аппарат жидкости (рис.4 - а и 4 - б, см. прил.), и тогда струя вытекающей из трубопровода жидкости является затопленной, так и выше уровня жидкости (рис.4 - в, см. прил.), вытекая в пространство, заполненное газом или паром, такая струя вытекающей жидкости называется свободной.

В зависимости от условий работы технологических аппаратов, давление газа иди паров жидкости внутри аппаратов, P_A и P_B может быть больше атмосферного давления, меньше или равно ему.

3. СПОСОБЫ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ ЖИДКОСТЕЙ ПО ТРУБОПРОВОДАМ

Наиболее простым способом перемещения жидкости из одного аппарата в другой является ее слив самотеком. Такое перемещение жидкости оказывается возможным, если начальная емкость располагается выше заполняемой, как это показано на рис.5 (см. прил.). При таком способе перемещения расход жидкости зависит от разности высоты ее уровней в емкостях L, когда струя вытекающей из трубопровода жидкости является затопленной (рис 5 - а, см. прил.), или разности высот L её уровня в исходкой ёмкости и сечения свободно вытекающей струи (рис 5-6, см. прил.). Недостатком этого способа является малый расход переливаемой жидкости при небольшой разности высот ее уровней и неравномерность расхода во времени из-за уменьшения разности высоты L по мере опорожнения начальной емкости. Этот способ может оказаться неприемлемым при наличии избыточного давления в заполняемой или разрежения в начальной емкости.

Жидкость может перемещаться по трубопроводу и при наличии разности давлений в начальной и заполняемой емкостях, когда $P_A > P_B$. Разность давлений в емкостях может быть создана путем увеличения давления газа (пара), в начальной, или создания вакуума в заполняемой емкости. Так можно перемещать жидкость не только между емкостями находящимися на одном уровне (рис.6, см. прил.), но и обеспечить ее подъем

на более высокий уровень (рис.7, см. прил.), или увеличить расход жидкости, когда скорость ее перемещения за счет силы тяжести, как это показано на рис.5 (см. прил.), оказывается недостаточной.

Если ни один из указанных способов не может быть использован из-за невозможности его технической реализации, невозможности обеспечения требуемого расхода жидкости или когда режим работы аппаратов является непрерывным и требуется строго поддерживать в аппаратах заданный расход или уровень жидкости, то для ее перемещения по трубопроводу применяются насосы. Насос устанавливается в начале трубопровода в непосредственной близости от начальной емкости, как это показано на рис.2 (см. прил.). В насосах механическая энергия двигателя преобразуется в энергию перекачиваемой жидкости путем повышения ее давления на начальном участке трубопровода.

В химической промышленности для перекачивания технологических жидкостей применяются все виды лопастных и объемных насосов (центробежные, вихревые, шестеренчатые, винтовые, поршневые, плунжерные, мембранные). Устройство и принцип работы этих насосов изложены в учебном пособии [1]. На заводах химической промышленности наряду с насосами общего назначения используются и специальные насосы, предназначенные для работы с летучими, огнеопасными, высоковязкими и химически активными жидкостями.

4. ЗАДАЧИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ТРУБОПРОВОДА

При проектировании новых трубопроводов и анализе работоспособности действующих приходится решать следующие задачи.

Для известной конструкции трубопровода необходимо определить давление или требуемый напор в начальном сечении трубопровода и выбрать способ перемещения жидкости по трубопроводу, обеспечивающий требуемый технологическими условиями ее расход. Если окажется невозможным, перемещение жидкости по трубопроводу самотеком или за счет имеющейся разности давлений в аппаратах и окажется необходимым использование насоса для перекачивания жидкости, тогда конечной целью расчета будет являться и подбор насоса, обеспечивающего заданный ее расход.

Задачей расчета может быть и определение расхода жидкости с заданными свойствами по имеющемуся трубопроводу, когда известен статический напор в его начальном сечении.

Целью расчета может оказаться и подбор диаметра трубопровода, при котором обеспечивается требуемый расход жидкости при имеющемся статическом напоре в начальном сечении трубопровода.

Решение указанных задач связано с графическим построением для системы "начальная ёмкость - трубопровод - заполняемая ёмкость" так называемых гидравлических характеристик системы, под которыми понимают характеристику трубопровода и кривую требуемого напора. При

выполнении расчетов, связанных с определением гидравлических характеристик, используются зависимости для определения потерь напора на линейных участках трубопровода, в местных сопротивлениях и технологических аппаратах и две фундаментальные зависимости: уравнение Бернулли и уравнение неразрывности потока.

5. ХАРАКТЕРИСТИКА ТРУБОПРОВОДА

Характеристикой трубопровода, называемой еще и характеристикой сети, называется график зависимости потерь напора в трубопроводе от расхода жидкости:

$$\sum h_{П} = f(q_v) \qquad (1)$$

где $\sum h_{П}$ - сумма всех потерь напора в трубопроводе;

q_v - объемный расход жидкости.

При выполнении гидравлических расчетов трубопровода исходят из принципа наложения потерь, определяя общие потери напора как сумму потерь напора на линейных участках трубопровода, в местных сопротивлениях и в технологических аппаратах, входящих в состав трубопровода:

$$\sum h_{П} = \sum_{i=1}^{n} h_{л.i} + \sum_{j}^{m} h_{м.j} + \sum_{y}^{k} h_{ma.y} \qquad (2)$$

где $h_{л.i}$ - потери напора на *i*-ом линейном участке трубопровода;

$h_{м.j}$ - потери напора на *j*-ом местном сопротивлении, включая потери напора на входе и выходе из трубопровода;

$h_{ma.y}$ - потери напора в технологических аппаратах, входящих в состав трубопровода.

Такими аппаратами могут быть теплообменники, фильтры, смесители, гидроциклоны, дегазаторы и др.

Методику определения потерь напора на линейных участках, в местных сопротивлениях и для некоторых типов технологического оборудования можно найти, например, в пособиях [2,3,4].

В общем случае зависимость (1) представляет собою исходящую из начала координат параболическую кривую (рис.8, см. прил.), крутизна которой определяется режимом течения жидкости, длиной трубопровода и количеством местных сопротивлений. При ламинарном режиме течения и малых потерях напора в местных сопротивлениях эта по сравнению с потерями на линейных участках зависимость будет практически линейной (рис.9, см. прил.).

В составе любого трубопровода всегда имеются запорные устройства в виде вентилей, задвижек или кранов. Изменение степени открытия запорного устройства позволяет при эксплуатации технологического оборудования регулировать расход протекающей по трубопроводу жидкости. Потери напора, в запорном устройстве зависят от степени его открытия, по мере его

закрывания они возрастают. Таким образом, запорное устройство является местным сопротивлением, в котором при заданном расходе потери напора являются наименьшими, когда оно полностью открыто, и будут возрастать по мере его закрывания, увеличивая тем самым величину 2й. Характеристику трубопровода строят при полностью открытом запорном устройстве (кривые 1 на рис.8 и рис.9, см. прил.). Для частично прикрытого запорного устройства вследствие увеличения потерь напора характеристика трубопровода будет располагаться выше первоначальной (кривые 2 на рис.8, и рис.9, см. прил.).

6. ТРЕБУЕМЫЙ НАПОР. КРИВАЯ ТРЕБУЕМОГО НАПОРА.

Рассмотрим работу трубопровода, схема которого изображена на рис.10 (см. прил.). Пусть в начальном 1-1 и конечном 2-2 сечениях этого трубопровода давление и средняя скорость течения жидкости будут, соответственно, P_1 и V_1 – для первого и P_2 и V_2 для второго сечения. Расстояния крайних сечений от некоторой произвольно выбранной горизонтальной поверхности сравнения будут – Z_1 и Z_2. Уравнение Бернулли для трубопровода запишется как:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho g} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + \sum h_П \qquad (3)$$

где ρ и g - плотность жидкости и ускорение силы тяжести;

α_1 и α_2 - коэффициенты, учитывающие неравномерность распределения кинетической энергии по сечению из-за неравномерного распределения по сечению местной скорости течения жидкости. Для ламинарного режима течения жидкости в трубе α = 2, для развитого турбулентного α = 1,05 - 1,1.

$\sum h_П$ - сумма всех потерь напора в трубопроводе, определяемая в соответствии с зависимостью (2).

Статический напор в начальном сечении $\frac{P_1}{\rho g}$ назовем действующим и обозначим как $H_Д = \frac{P_1}{\rho g}$. Действующий напор - это тот статический напор в начальном сечении, воздействие которого на жидкость в этом сечении обеспечивает ее перемещение по трубопроводу с заданным расходом q_v.

На основании уравнения (3) величина действующего напора для трубопровода определится как:

$$H_Д = (Z_2 - Z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{\alpha_2 V_2^2 - \alpha_1 V_1^2}{2g} + \sum h_П$$

Действующий напор можно представить в виде суммы двух напоров

$$H_Д = H_И + H_{ТР}$$

где $H_И$ - имеющийся напор, $H_{ТР}$ - требуемый напор.

Имеющийся напор (рис.3, см. прил.) обусловлен действием давления, создаваемого в сечении 1-1 весом столба жидкости высотой L_A и действием давления газа (пара) P_A на поверхность жидкости в начальной емкости. Величина имеющегося напора согласно основному уравнению (закону) гидростатики равна:

$$H_H = \frac{P_A + \rho g L_A}{\rho g} = \frac{P_A}{\rho g} + L_A \qquad (5)$$

Требуемый напор - это статический напор, который фактически необходимо создать в начальном сечении трубопровода, чтобы обеспечить течение жидкости с заданным расходом. С учетом выражения (5) действующий напор определится как:

$$H_H = \frac{P_A}{\rho g} + L_A + H_{TP} \qquad (6)$$

При истечении жидкости из трубопровода в заполняемую емкость в виде затопленной струи (рис.4 - а и 4 - б, см. прил.) давление в конечном сечении трубопровода вследствие давления создаваемого весом столба жидкости высотой L, и давления газа (пара) P_B на поверхности жидкости, будет равно:

$$P_2 = P_B + \rho g L_B \qquad (7)$$

Если жидкость истекает из трубопровода в аппарат в виде свободной струи (рис.4 - б, см. прил.), то P_A=P_B.

Подставляя значения $H_Д$ и P_2, определяемые как (6) и (7) в уравнение (4), и решая полученное равенство относительно H_{TP}, находим выражение для определения требуемого напора:

$$H_{TP} = (Z_2 - Z_1) + \frac{P_B - P_A}{\rho g} + (L_B - L_A) + \frac{\alpha_2 V_2^2 - \alpha_1 V_1^2}{2g} + \sum h_П$$

которое можно представить в виде зависимости:

$H_{TP} = H_{CT} + H_{CK} + \sum h_П$

где $b = H_{CT} + H_{CK}$,

H_{CT} - статическая составляющая требуемого напора,

H_{CK} - составляющая требуемого напора, учитывающая баланс кинетической энергии для потока жидкости на входе и выходе из трубопровода;

$\sum h_П$ - суммарные потери напора в трубопроводе, определяемые согласно выражению (2).

Величина статической составляющей определяется как:

$$H_{TP} = (Z_2 - Z_1) + \frac{P_B - P_A}{\rho g} + (L_B - L_A) = H_Г + H_{ПР1} + H_{ПР2} \qquad (10)$$

В этом выражении $(Z_2 - Z_1) = H_Г$ - геометрическая высота подачи жидкости, определяющая требуемый напор, необходимый для подъема жидкости на большую высоту, когда заполняемая емкость располагается выше начальной, или снижение его значения, когда заполняемая емкость располагается ниже начальной и течение жидкости может осуществляться

самотеком под действием силы тяжести. В первом случае $H_Г > 0$, а во втором $H_Г < 0$, если же оба крайних сечения трубопровода располагаются на одной высоте, то $H_Г = 0$.

Величина $\frac{P_B - P_A}{\rho g} = H_{ПР1}$ определяет требуемый напор, затрачиваемый на преодоление противодавления истечению жидкости со стороны газа (пара) находящегося в заполняемой емкости под давлением P_B, или снижение его значения, когда давление газа в начальной емкости больше, чем в заполняемой.

В первом случае $H_{ПР1} > 0$, во втором $H_{ПР1} < 0$. И когда давление газа (пара) в обеих емкостях одинаково или полости емкостей сообщаются с атмосферой, $H_{ПР1} = 0$.

Величина $(L_B - L_A) = H_{ПР2}$ определяет требуемый напор, необходимый для преодоления противодавления создаваемого истечению жидкости давлением столба жидкости, когда она вытекает в заполняемую емкость в виде затопленной струи и при этом $H_{ПР2} > 0$, или снижение требуемого напора, когда $H_{ПР2} < 0$. При равном заглублении крайних сечений трубопровода $L_B = L_A$ и $H_{ПР2} = 0$. При истечении жидкости в заполняемую емкость в виде свободной струи, следует принять $L_B = 0$ и тогда:

$$H_{ПР2} = -L_A$$

В зависимости от знака и численных значений отдельных слагаемых, входящих в выражение (10), величина статической составляющей требуемого напора не может быть равной, большей или меньшей нуля.

Составляющая требуемого напора $H_{СК}$, учитывающая для потока жидкости в трубопроводе баланс кинетической энергии определяется как:

$$H_{СК} = \frac{\alpha_2 V_2^2 - \alpha_1 V_1^2}{2g}$$

В зависимости от соотношения диаметров труб в крайних сечениях, а следовательно и соотношения скоростей течения жидкости в них, в общем случае между скоростями течения жидкости в крайних сечениях может иметь место соотношение $V_1 <> V_2$ поэтому в общем случае $Нск \neq 0$. Величина *Нск* определяется как разность скоростных напоров в крайних сечениях трубопровода и если скоростной напор в конечном сечении окажется выше, чем в начальном, то это будет означать, что через конечное сечение кинетической энергии отводится больше, чем ее поступает через начальное сечение в трубопровод и для сохранения баланса между этими потоками кинетической энергии необходимо ее восполнение в виде требуемого для этого напора. При обратном соотношении скоростных напоров в крайних сечениях часть кинетической энергии должна остаться в потоке и трансформироваться в потенциальную, снижая тем самым требуемый напор. В силу сказанного в первом случае $Нск > 0$, во втором $Нск < 0$, а при равенстве скоростных напоров в крайних сечениях $Нск = 0$. В тех случаях, когда из-за малого отличия диаметров труб в крайних сечениях численное значение величины *Нск* оказывается существенно малым по сравнению с

величинами H_{CT} и $\sum h_{П}$, то этой составляющей требуемого напора, входящей в выражение (9), можно пренебречь. Рассчитав с помощью выражений (8) - (11) для ряда расходов q_v значения требуемых напоров, получают зависимость:

$$H_{ТР} = b + \sum h_{П} = f(q_v) \qquad (12)$$

Графическое изображение этой зависимости называется кривой требуемого напора. На основании выражений (1) и (12) следует, что кривая требуемого напора представляет собою характеристику трубопровода, смещенную по оси ординат на величину $b = H_{CT} + H_{CK}$.

Так как значения величин H_{CT} и H_{CK}, как было показано, могут быть положительными, отрицательными или равными нулю, то в общем случае величина «b» может изменяться в пределах $b = H_{CT} + H_{CK} \neq 0$. В некоторых случаях, как указывалось ранее, величиной составляющей требуемого напора H_{CK} можно пренебречь, и тогда для трубопровода «b» будет являться величиной постоянной и равной $b = H_{CT} \neq 0$. На рис. 11 и 12(см. прил.) изображены кривые требуемого напора с учётом указанных значений величины «b» для случаев, когда характеристика трубопровода не линейна (рис. 11, см. прил.) и линейна (рис. 12, см. прил.).

7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАМЕТРА ТРУБ И СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОСТИ В ТРУБАХ.

Уравнение расхода жидкости для течения в трубе записывается как:

$$q_V = \frac{\pi D^2}{4} V \qquad (13)$$

где q_v- объемный расход жидкости;

D - внутренний диаметр трубы;

V - средний скорость течения жидкости в трубе.

Для заданного расхода жидкости и известной скорости ее течения внутренний диаметр трубы на основании выражения (13) можно определить как:

$$D = \sqrt{\frac{4q_V}{\pi V}} \qquad (14)$$

При выполнении гидравлических расчетов для проектируемых промышленных трубопроводов ориентировочно принимают следующие значения скорости течения жидкостей по трубам:

- маловязкие жидкости (до ~ 0,01 Па с) при перекачивании 0,5-3,0 м/с
- вязкие жидкости (свыше 0,01 Па с) при перекачивании 0,2-1,0 м/с
- движение жидкости самотеком 0,1-0,5 м/с

Для существующего трубопровода, когда диаметр его труб известен, фактическая скорость течения жидкости при заданном её расходе на основании уравнения расхода (13) определяется как:

$$V = \frac{4q_V}{\pi D^2} \qquad (15)$$

8. ВЗАИМОСВЯЗЬ СКОРОСТЕЙ ТЕЧЕНИЯ ЖВДШСТИ НА РАЗНЫХ УЧАСТКАХ ТРУБОПРОВОДА

При перемещении жидкости из одного аппарата в другой без использования насоса, диаметр труб на всем протяжении трубопровода обычно одинаков, хотя в некоторых случаях вследствие каких-то обстоятельств, например, после выполнения ремонтных работ или модернизации технологической установки, трубопровод может иметь участки, выполненные из труб разного диаметра. При перекачивании жидкости по трубопроводу с помощью насоса участок трубопровода, расположенный между его начальным сечением и всасывающим патрубком насоса с целью снижения потерь напора всегда выполняется из труб большего диаметра по сравнению с трубами участка, расположенного за насосом.

Уравнение неразрывности для потока жидкости в общем случае записывается как:

$$q_V = S_1V_1 = S_2V_2 = ... = S_iV_i = const$$

где q_v - объемный расход жидкости;

S_i - площадь живого сечения потока;

V_i - средняя скорость течения жидкости в рассматриваемом сечении.

Дня течения в круглой трубе $S = \frac{\pi D}{4}$ и тогда для трубопровода имеющего участки с разным диаметром труб уравнение (15) запишется как:

$$q_V = \frac{\pi D_1^2}{4}V_1 = \frac{\pi D_2^2}{4}V_2 = ... = \frac{\pi D_i^2}{4}V_i = const \qquad (16)$$

где $D_1, D_2, ..., D_i$ - диаметры труб отдельных участков;

$V_1, V_2, ..., V_i$ - скорости течения жидкости на этих участках.

Уравнение (16) устанавливает для трубопровода взаимосвязь между скоростями течения жидкости на его отдельных участках, выполненных из труб разного диаметра. Скорости течения жидкости на двух соседних участках, как следует из уравнения (16) взаимосвязаны соотношением:

$$V_1 = \left(\frac{D_2}{D_1}\right)^2 V_2 \qquad (18)$$

9. Анализ работы трубопровода на основании гидравлических характеристик

Имея для трубопровода гидравлическую характеристику в виде кривой требуемого напора, можно решать такие задачи как:

-необходимость применения насоса для перекачивания жидкости или ее перемещение без него, с помощью давления газа и действия столба жидкости в аппарате;

-подбор насоса, необходимого для перемещения по трубопроводу жидкости с заданным расходом;

-выдача рекомендаций о целесообразном способе регулирования расхода;

-разработка предложений на реконструкцию трубопровода и т. д.

Рассмотрим в качестве примера фрагмент анализа работы трубопровода, для которого $b < 0$, а кривая требуемого напора для него выглядит так, как изображено на рис. 13 (кривая I, см. прил.). Для этого трубопровода при полностью открытом запорном устройстве самотеком (при $H_{TP} = 0$) обеспечивается расход жидкости равной q_{V1}. Если трубопровод должен обеспечить расход жидкости q_{V2} меньший, но не слишком отличающийся от q_{V1}, то для этого достаточно прикрыть запорное устройство, чтобы кривая требуемого напора переместилась из положения 1 в положение 2. При расходе q_{V3} меньшим, чем q_{Vl}, но значительно отличающимся от него, такой способ регулирования может быть использован только для действующего трубопровода, для вновь же проектируемого целесообразно подобрать трубы меньшего диаметра, что позволит путем увеличения гидравлического сопротивления за счет увеличения скорости течения жидкости сместить кривую требуемого напора в положение 3 и обеспечить расход q_{V3} при меньшей металлоемкости трубопровода. Меньший диаметр трубопровода позволяет не только снизить капитальные затраты, но одновременно упрощает и монтажные работы.

Для обеспечения расхода q_{V4} большего чем q_{V1} необходимо создание в начальном сечении трубопровода требуемого напора H_{TP4}. Это можно сделать с помощью насоса, создающего напор равный H_{TP4} при расходе q_{V4}. Если такого насоса не имеется или при его эксплуатации нарушаются безопасные условия работы технологической установки, то напор H_{TP4} можно обеспечить с помощью давления газа, действия столба жидкости или их совместным действием, создав в начальном сечении трубопровода давление, равное:

$$P_1 = \rho g H_{TP4}$$

Для трубопроводов, у которых $b > 0$ для обеспечения нужного расхода жидкости всегда необходимо создание в начальном сечении требуемого напора с помощью насоса, давления газа или столба жидкости, заполняющей аппарат.

Если для перемещения жидкости предполагается применение насоса, то его подбор ведут с использованием графоаналитического метода,

основанного на совмещении характеристики насоса с кривой требуемого напора. Для приближенного подбора насоса при известном требуемом напоре и производительности трубопровода можно воспользоваться методикой, изложенной в пособиях [1,2].

10. Методические указания к выполнению контрольной работы

10.1 Цели и задачи контрольной работы

Целью контрольной работы является:

1. Знакомство с устройством технологических трубопроводов химических предприятий, способами перемещения по ним жидкостей и методами использования фундаментальных зависимостей для получения расчетных уравнений, необходимых для построения гидравлических характеристик трубопроводов.

2. Выполнение индивидуального задания по построению кривой требуемого напора для простого технологического трубопровода, определению способа перемещения жидкости по нему для заданного расхода и, если это окажется необходимым, подбор насоса, а также приобретение навыка анализа работы трубопровода на основании его гидравлических характеристик.

10.2 Содержание задания

В индивидуальном задании для выполнения контрольной работы указываются геометрические характеристики трубопровода (длины линейных участков и диаметры труб), состояние внутренней поверхности труб, местные сопротивления и их расположение, тип и температура перемещаемой жидкости, условия работы сообщаемых трубопроводом аппаратов и их взаимное расположение по вертикальной отметке. Расход жидкости, для которого следует проанализировать работу трубопровода или подобрать насос, указывается преподавателем после графического построения студентом кривой требуемого напора.

10.3 Указания к построению кривой требуемого напора

Ознакомившись с методикой построения гидравлических характеристик трубопровода, построить кривую требуемого напора для трубопровода по данным задания.

Для чего:

1. С учетом вязкости жидкости при температуре ее перемещения по трубопроводу и характера взаимного расположения аппаратов (возможности перемещения жидкости самотёком или отсутствия таковой) принять наибольшее рекомендуемое значение скорости течения жидкости в трубах.

2. Для принятой скорости течения жидкости определить ее расход q_V , приняв в качестве расчетного меньший из диаметров труб.

3. Для ряда значений расхода q_V (не менее 5-7 значений), находящихся в интервале расходов от нуля до $q_{V\ max}$ = (1,25 – 1,30) q_V определить значения требуемого напора H_{TP}.

При выполнении расчетов следует иметь в виду, что для каждого конкретного значения расхода q_{Vi}, скорости течения жидкости на участках трубопровода с разным диаметром труб взаимосвязаны соотношением (17).

4. На листе бумаги с миллиметровой сеткой построить кривую требуемого напора $H_{TP} = f(q_V)$. Размеры поля графика должны быть размещены на листе формата А4. При построении графика на листах меньших половины формата А4 точность построения графика снижается, а при увеличении сверх формата А4 практически не повышается. Координатные оси должны иметь равномерные шкалы для расхода жидкости и напора с указанием размерности расхода и напора.

5. Кривая требуемого напора может быть построена:

а) Путем нанесения на поле графика значений напоров H_{TP}, найденных в виде суммы $H_{TP} = b + \sum h_{П}$. Для ряда значений расхода q_{Vi}

б) Путем первоначального построения характеристики трубопровода и её последующего смещения по оси координат на величину «b» (вверх, когда $b > 0$, вниз, когда $b < 0$, и оставить без изменения, когда $b = 0$). Этот способ применим в том случае, если окажется возможным считать «b» величиной постоянной.

10.4 Указания к выбору способа перемещения жидкости и подбору насоса

Построив кривую требуемого напора, получить от преподавателя указание о величине расхода, который необходимо обеспечить при перемещении жидкости из начального аппарата в заполняемый, после чего:

1. На основании кривой требуемого напора проанализировать работу трубопровода с целью выявления возможности перемещения жидкости при заданном расходе самотеком, под действием большего давления в начальном сечении трубопровода или с помощью насоса.

2. При возможности перемещения жидкости по трубопровод без насоса рекомендовать способ регулирования расхода до заданного значения.

3. Если для перемещения жидкости окажется необходимым применение насоса, то необходимо его подобрать, воспользовавшись методикой, изложенной в пособиях [2,3,4].

Литература

№ п/п	Наименование издания
1	2
	Основная литература
1	Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии : учебник для ВУЗов. изд. 14-е, стереотип. – М. : ООО ИД «Альянс», 2008. – 753 с.
2	Баранов, Д. А. Процессы и аппараты химической технологии [Электронный ресурс] :

	учеб. пособие / Д. А. Баранов. - Санкт-Петерберг : Лань, 2016. - 408с. - (Учебники для вузов. Специальная литература.). - ISBN 978-5-8114-2295-1. - (ЭБС "Лань"). - Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/87568#book
	Дополнительная литература
3	Комиссаров, Ю. А. Процессы и аппараты химической технологии [Текст] : учеб. пособие / Ю. А. Комиссаров, Л. С. Гордеев, Д. П. Вент. - М. : Химия, 2011. - 1229 с.
4	Основные процессы и аппараты химической технологии [Текст] : пособие по проектированию / под ред. Ю. И. Дытнерского. - 4-е изд., стер. - М. : Альянс, 2008. - 494 с.
5	Дытнерский, Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии [Текст] : учебник. Ч. 1 : Теоретические основы процессов химической технологии. Гидромеханические и тепловые процессы и аппараты / Ю. И. Дытнерский. - М. : Химия, 2002. - 400 с.
6	Дытнерский Ю. И. Процессы и аппараты химической технологии [Текст] : учебник. Ч. 2 : Массообменные процессы и аппараты / Ю. И. Дытнерский. - М. : Химия, 2002. - 368 с.
7	Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии : учеб. пособие для студ. хим.-технолог. спец. вузов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков ; под. ред. П. Г. Романкова. - 10-е изд., пере-раб. и доп. - М. : Альянс, 2013. - 576 с.
8	Смирнов, Н. Н. Альбом типовой химической аппаратуры (принципиальные схемы аппаратов) [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Н. Н. Смирнов, В. М. Барабаш, К. А. Карпов ; под общ. ред. Н.Н. Смирнова. - 3-е изд., стер. - Санкт-Петербург : Лань, 2017. - 84 с. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - ISBN 978-5-8114-2485-6. - (ЭБС "Лань"). - Режим доступа: https://e.lanbook.com/book/91283#book
9	Основные процессы и аппараты химической технологии [Текст] : учеб. пособие для вузов / под ред. Ю. И. Дытнерского. - 2-е изд., перераб. и доп. - М. : Химия, 1991. - 496 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

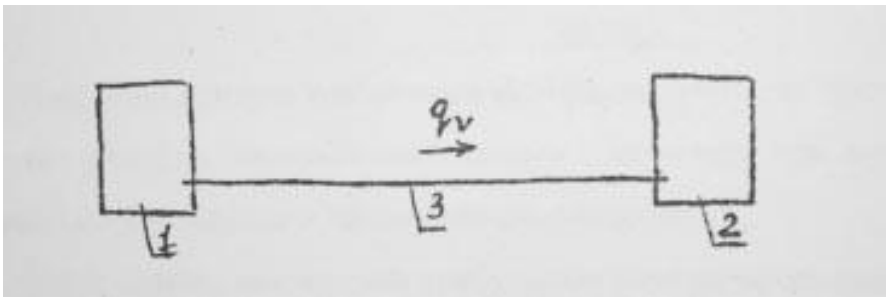

Рис. 1
1 – начальная емкость, 2 – заполняющая емкость, 3 – трубопровод

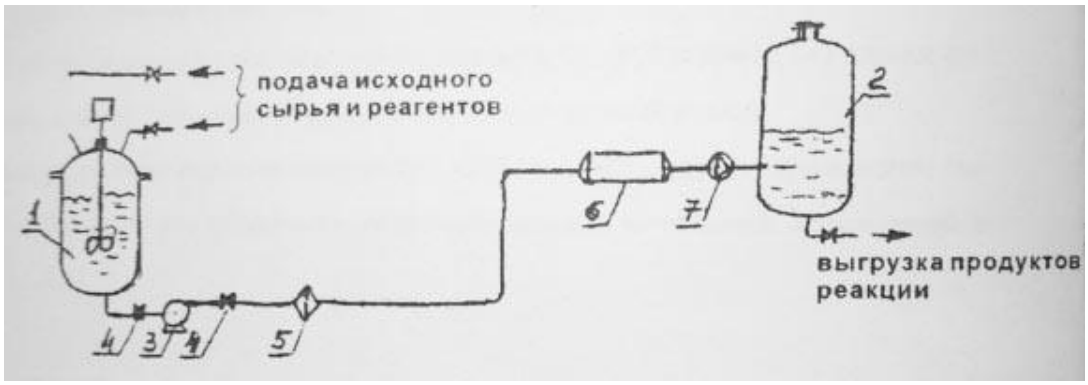

Рис. 2
1 – реактор (начальная емкость), 2 – емкость для приема продуктов реакции (заполняемая емкость), 3 – насос, 4 – заполняемые устройства (задвижки, вентили), 5 – фильтр, 6 – теплообменник, 7 – расходомер

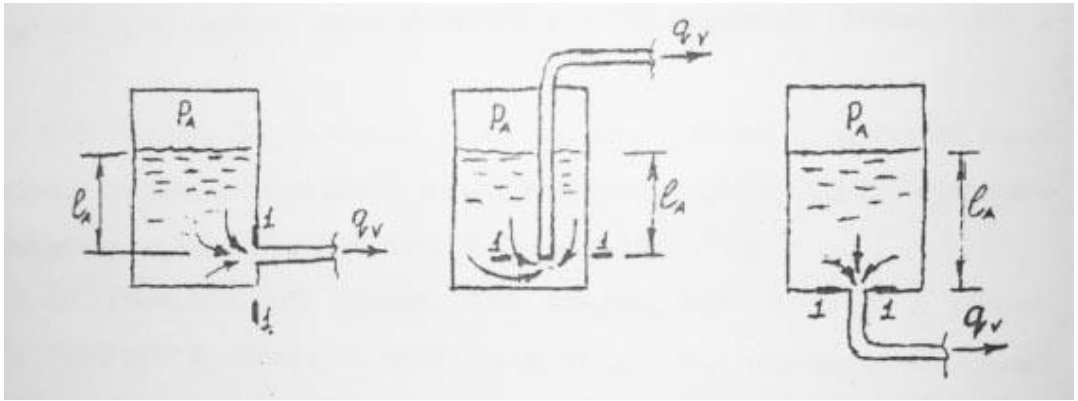

Рис. 3

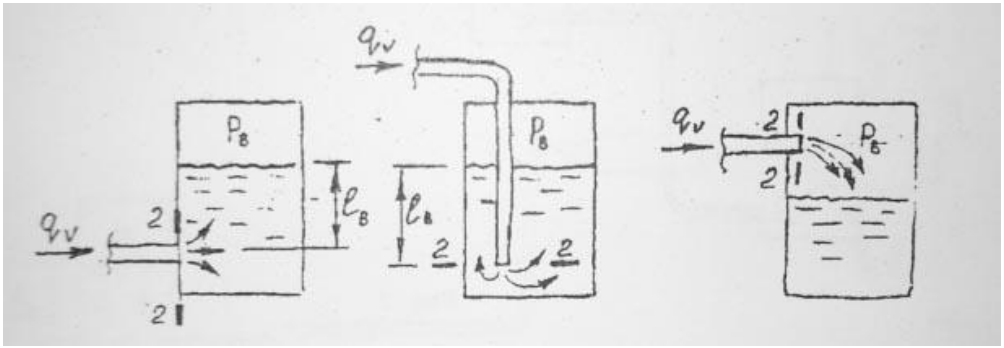

Рис. 4

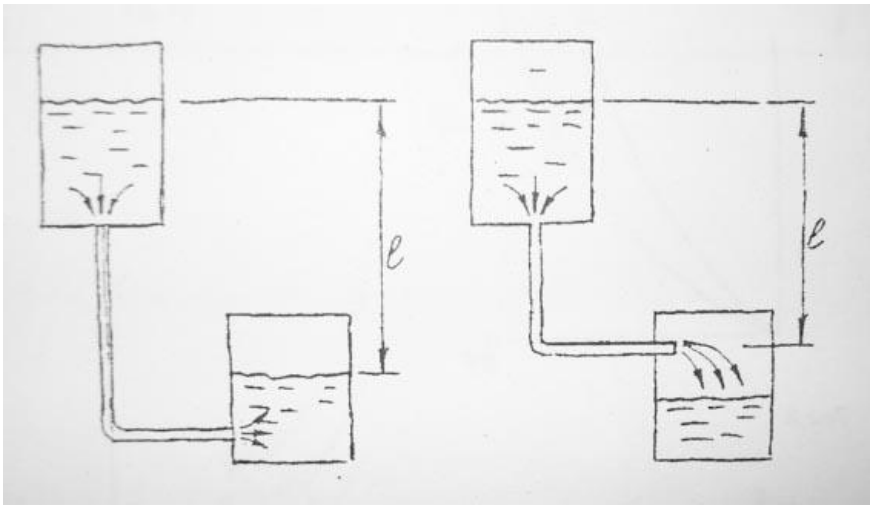

Рис. 5

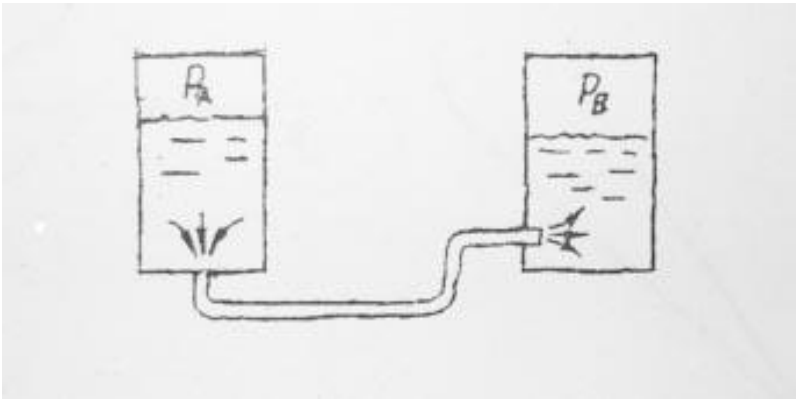

Рис. 6

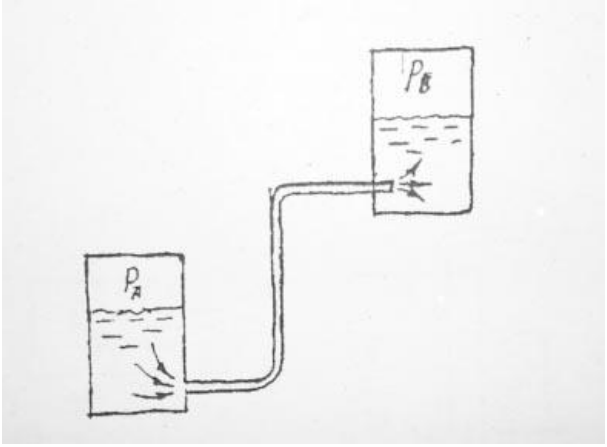

Рис. 7

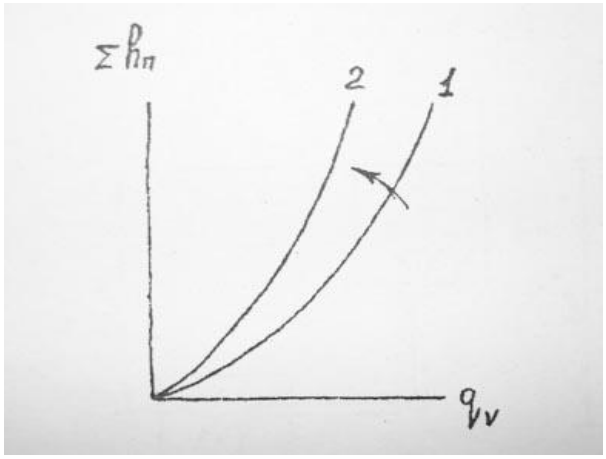

Рис. 8

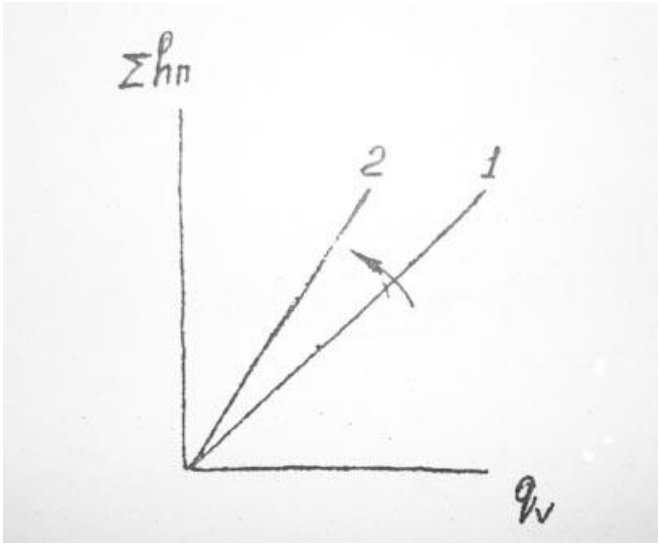

Рис. 9

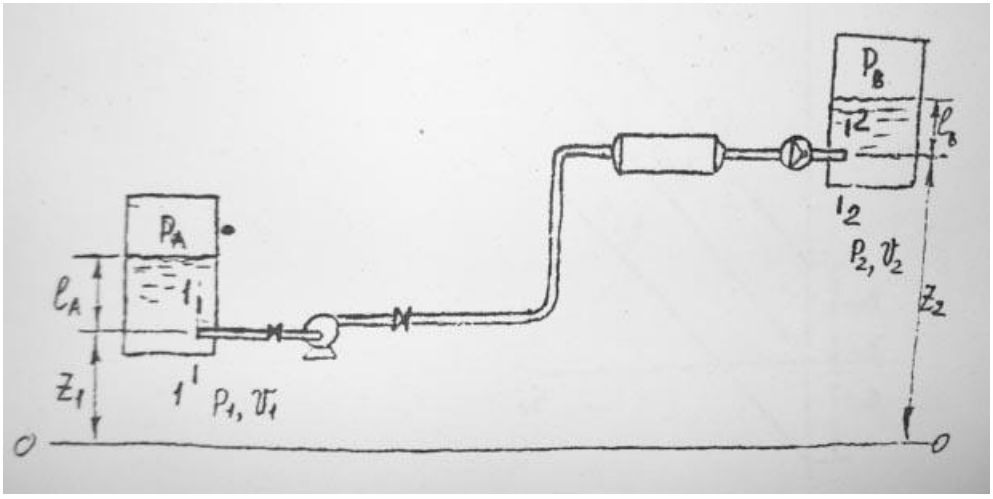

Рис. 10

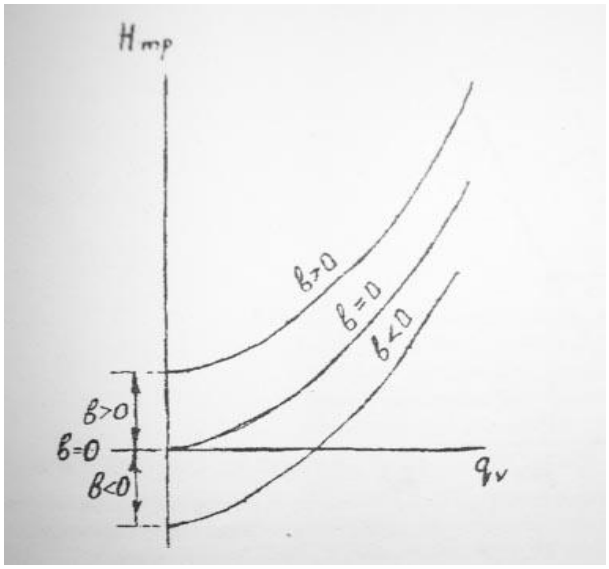

Рис. 11

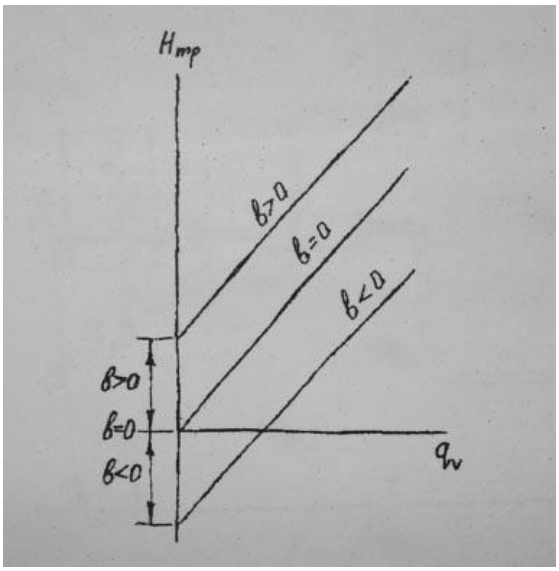

Рис. 12

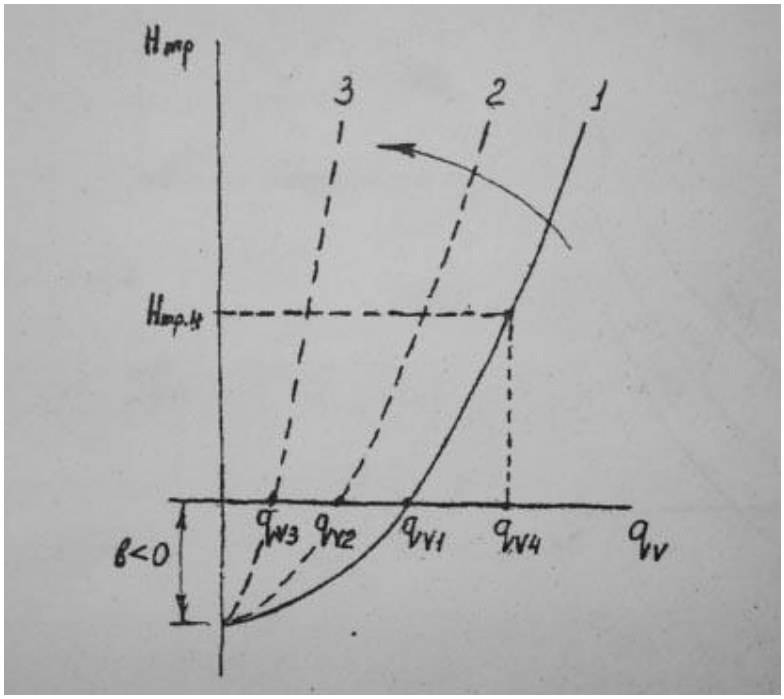

Рис. 13

Вячеслав Александрович **Балашов**
Олег Леонардович **Ковалев**
Дмитрий Антонович **Анохин**
Елена Андреевна **Беднарская**
Павел Валерьевич **Мишта**

УСТРОЙСТВО И ОСНОВЫ РАСЧЕТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ТРУБОПРОВОДА

Темплан 2004, поз. № 252.
Подписано в печать 16.04.2004. Формат 60x84 1/16.
Бумага газетная. Печать офсетная. Уч.-изд. л. 1,7.
Усл. печ. л. 1,63. Тираж 50 экз. Заказ 356

Волгоградский государственный технический университет
400131 Волгоград, просп. им. В. И. Ленина, 28

РПК "Политехник"
Волгоградского государственного технического университета
400131 Волгоград, ул. Советская, 35.