

Министерство образования и науки Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образование учреждение  
высшего профессионального образования

«Российский государственный университет  
нефти и газа имени И.М. Губкина»

Кафедра нефтегазовой и подземной гидромеханики  
Учебное пособие по дисциплинам  
*«Гидравлика и нефтегазовая гидромеханика» и «Гидромеханика»*

**ДРОЗДОВА Ю.А., КРАВЧЕНКО М.Н., РАЗБЕГИНА Е.Г.**

**ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СЛОЖНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

**Издательский центр  
РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина  
Москва - 2016**

УДК 532.529.5

*Рецензент:*

*проф. Ермолаев А.И.*

**Дроздова Ю.А., Кравченко М.Н., Разбегина Е.Г.**

Гидравлический расчет сложных трубопроводов. Учебное пособие по дисциплинам «Гидравлика и нефтегазовая гидромеханика» и «Гидромеханика».-М.: РГУ нефти и газа имени И.М.Губкина, 2016.- 60 с.

В пособии представлены прикладные задачи по дисциплинам «Гидравлика» и «Гидромеханика». Рекомендуется использовать задачи на практических занятиях для закрепления теоретического материала лекций, а также для самостоятельной работы студента. Кроме того, данные задачи предлагается использовать в качестве заданий для курсового проектирования. В пособии изложен порядок выполнения курсовой работы. В Приложениях к учебному пособию дается справочная информация, необходимая при решении задач. В пособие включены различные материалы преподавателей кафедры нефтегазовой и подземной гидромеханики, которые использовались на практических занятиях.

Пособие предназначено для подготовки бакалавров и магистров по направлению «Нефтегазовое дело» и дипломированных специалистов по специальности 21.05.05 «Физические процессы нефтегазового производства».

Данное издание является собственностью РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина и его репродуцирование (воспроизведение) любыми способами без согласия университета запрещается

© РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2016

© Ю.А. Дроздова, М.Н. Кравченко, Е.Г. Разбегина, 2016

© \_\_\_\_\_ – оформление серии, 2016

### ***Введение.***

В учебном пособии предлагаются расчетно-графические задачи для курсовых или домашних работ по гидравлике или гидромеханике. Задание выдается научным руководителем, назначенным кафедрой. Работа поможет студенту закрепить знания, полученные в семестре, на примере решения моделей производственных задач, а также выработать элементарные навыки исследовательской работы.

### ***Порядок выполнения работы***

Приступить к выполнению работы необходимо сразу после получения задания. Выполнение работы состоит из нескольких этапов:

1. Ознакомление с поставленной задачей и определение теоретического раздела прочитанного курса, который используется для ее решения.
2. Знакомство с теоретическими основами работы по лекциям и рекомендованной литературе и составление плана ее выполнения,
3. Разработка алгоритма решения поставленной задачи и изложение руководителю принципов решения задачи,
4. Выбор метода и способа (ручной счет или машинный) решения. Выбор программы (Excel, MathCad, Maple, Mathematics и т.д.), используемой в дальнейшем для расчета задачи.
5. Расчеты и анализ полученных результатов,
6. Обработка результатов, представление их в виде графиков и таблиц,
7. Выводы.

Решение задачи, полученной в качестве домашнего задания, сдается преподавателю в установленные преподавателем сроки.

Задача, полученная как курсовая работа, должна быть защищена в установленные кафедрой сроки.

### ***Защита курсовой работы***

Защита курсовой работы происходит публично перед комиссией, назначаемой кафедрой, и в сроки, установленные кафедрой. Нарушение сроков защиты курсовой работы приводит к переносу защиты на следующий семестр.

Выступление при защите работы должно быть кратким (5-8 минут), содержать постановку задачи, алгоритм ее решения, а также анализ полученных результатов и выводы. Содержание и форма сообщения, а также качество ответов на вопросы комиссии определяют оценку курсовой работы.

При неудовлетворительной оценке работы студенту выдается новое курсовое задание.

### ***Оформление курсовой работы***

В курсовой работе материал излагается в следующем порядке:

- титульный лист,
- задание на курсовую работу,
- введение,
- теоретическая часть,
- расчетная часть,
- графическая часть,
- выводы и заключение,
- список литературы.

Задание на курсовую работу должно быть подписано у научного руководителя не позднее десятой недели семестра. В противном случае курсовая работа переносится на следующий семестр.

В конце работы должна стоять подпись студента, дата окончания и сдачи работы руководителю.

Работа должна быть выполнена на листах формата А4 с полями с левой стороны шириной 20 мм, с правой не менее 15 мм, листы должны

быть сшиты и иметь титульный лист. Пример титульного листа дается в приложении 1.

Во **введении** излагается прикладное значение рассматриваемой задачи, ее использование в нефтегазовой промышленности.

В **теоретической** части описываются метод расчета, выводы и выбор расчетных формул. Материал излагается своими словами в объеме, необходимом для выполнения данной работы. Эта часть обычно содержит 3-5 страниц текста. В тексте должны быть ссылки на использованную литературу с указанием номера страницы.

В **расчетной** части приводятся исходные числовые значения физических величин с указанием их размерностей, подробное решение задачи с используемыми формулами, таблицы с промежуточными значениями рассчитываемых величин и результатами расчетов, а также распечатки программ, если они разрабатываются и используются при проведении расчетов. При проведении расчетов можно использовать справочные материалы приложения 2.

В **графической** части приводятся графики и рисунки, необходимые и используемые для решения задачи. Все графики выполняются в масштабе с указанием величин на осях координат. Таблицы и графики должны быть пронумерованы, таблицы - иметь названия, а рисунки – подрисуночные подписи с указанием принятых обозначений. В тексте работы приводятся ссылки на таблицы и рисунки с необходимыми пояснениями.

В заключительной части работы необходимо изложить и проанализировать основные результаты работы, оценить приемлемость принятых допущений, оценить возможность использования выбранного метода расчета и т.д.

Работа сдается руководителю на проверку не позднее, чем за 5 дней до даты ее защиты.

## 1. Гидравлический расчет водозабора раздельного типа системы заводнения пласта с заданными диаметрами водозаборных труб

### Содержание работы

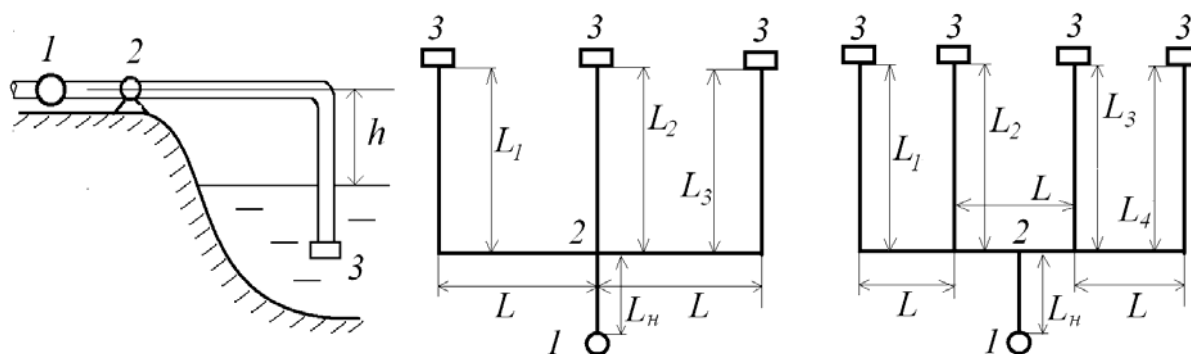
#### 1. Теоретическая часть.

Теоретические основы гидравлического расчета всасывающей линии насосной установки и сложных трубопроводов.

#### 2. Расчетная часть.

Определение расхода воды во всасывающей трубе насоса по заданным диаметрам подводящих труб.

### Схема водозабора раздельного типа



1 – насос,

2 – соединение труб,

3 – фильтр.

при нечетном числе  
всасывающих труб

при четном числе  
всасывающих труб

### Исходные данные

|                 |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| <b>Варианты</b> | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>8</b> | <b>9</b> | <b>10</b> |
| <b>Данные</b>   |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |

Гидравлический расчет сложных трубопроводов

|  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Допустимая<br>высота<br>всасывания<br>перед насосом<br>$H$ , м | 6,0  | 7,5  | 6,0  | 6,5  | 6,5  | 6,0  | 7,5  | 5,0  | 6,5  | 6,0  |
| Число<br>водозаборных<br>труб                                  | 2    | 3    | 4    | 3    | 2    | 3    | 4    | 3    | 2    | 4    |
| Длины участков, м  |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| $L$  | 80   | 80   | 30   | 60   | 50   | 40   | 40   | 50   | 45   | 80   |
| $L_1$  | 50   | 40   | 35   | 30   | 35   | 40   | 35   | 30   | 25   | 20   |
| $L_2$  | 40   | 35   | 20   | 30   | 25   | 30   | 60   | 40   | 15   | 20   |
| $L_3$  | -    | 35   | 20   | 30   | -    | 40   | 60   | 40   | -    | 20   |
| $L_4$  | -    | -    | 25   | -    | -    | -    | 35   | -    | -    | 20   |
| $L_H$  | 10   | 15   | 12   | 10   | 8    | 15   | 6    | 5    | 10   | 10   |
| Диаметры линий, мм   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| $d$  | 100  | 125  | 175  | 150  | 100  | 125  | 200  | 200  | 80   | 125  |
| $d_1$  | 100  | 125  | 150  | 125  | 80   | 100  | 150  | 200  | 80   | 100  |
| $d_2$  | 80   | 100  | 125  | 100  | 80   | 80   | 125  | 150  | 80   | 80   |
| $d_3$  | -    | 125  | 125  | 125  | -    | 80   | 125  | 150  | -    | 80   |
| $d_4$  | -    | -    | 150  | -    | -    | -    | 150  | -    | -    | 100  |
| $d_H$  | 120  | 150  | 200  | 200  | 120  | 150  | 225  | 225  | 100  | 150  |
| Эквивалентная<br>шероховатость,<br>мм                          | 0,05 | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,50 | 1,00 | 0,50 | 0,15 |
| Суммарные коэффициенты местных сопротивлений                   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 1  | 15   | 20   | 25   | 30   | 35   | 30   | 25   | 20   | 15   | 30   |
| 2  | 20   | 15   | 25   | 25   | 25   | 20   | 15   | 25   | 30   | 25   |
| 3  | -    | 20   | 25   | 20   | -    | 20   | 15   | 30   | -    | 20   |
| 4  | -    | -    | 25   | -    | -    | -    | 25   | -    | -    | 20   |
| Высота<br>подъема $h$ , м                                      | 1,0  | 1,5  | 0,5  | 0,0  | 1,0  | 2,5  | 0,5  | 0,0  | 2,0  | 0,8  |

---

|                         |   |    |    |    |    |    |    |    |   |    |
|-------------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|---|----|
| Температура<br>воды, С° | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 20 | 15 | 10 | 5 | 10 |
|-------------------------|---|----|----|----|----|----|----|----|---|----|

***Методические указания:***

1. Потерями напора в местных сопротивлениях линий  $L$  и  $L_H$  пренебречь.
2. Построить характеристику всасывающей сети и по ней определить расход воды во всасывающей трубе насоса и расход воды в каждой водозаборной трубе.
3. Допустимая высота всасывания  $H$  соответствует минимальному абсолютному напору перед насосом.



## 2. Гидравлический расчет водозабора с береговым колодезем.

### *Содержание работы*

#### 1. Теоретическая часть.

Основы гидравлического расчета самотечных и сложных трубопроводов.

#### 2. Расчетная часть.

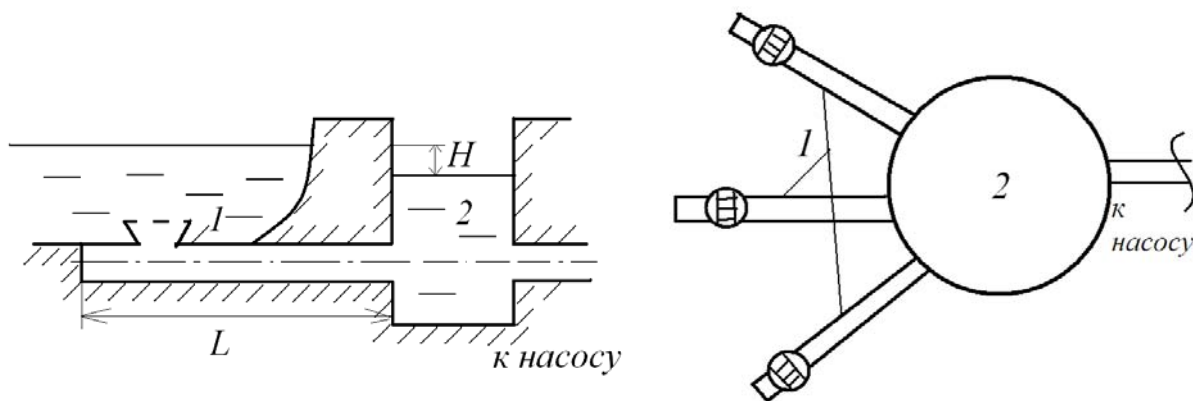
Вода из открытого водоема по водозаборным трубам подается в береговой колодезь, из которого выкачивается насосом.

а) Определить расходы в водозаборных трубах.

б) Определить разность уровней воды в водозаборном береговом колодезе  $H$  и водоеме.

в) Как изменятся расходы и уровень воды в водозаборном колодезе после подключения к первой трубе лупинга длины  $L$ .

### *Схема водозаборного сооружения*



1 – водозаборные трубы,

2 – колодезь.

### *Исходные данные*

Гидравлический расчет сложных трубопроводов

| <b>Варианты</b>                                       | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>8</b> | <b>9</b> | <b>10</b> |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| <b>Данные</b>   |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
| Подача насоса,<br>м <sup>3</sup> /час                 | 540      | 500      | 600      | 400      | 460      | 650      | 300      | 540      | 450      | 630       |
| Температура<br>воды, С°                               | 10       | 15       | 20       | 20       | 18       | 25       | 16       | 25       | 10       | 15        |
| Диаметры труб,<br>мм                                  | 250      | 200      | 250      | 200      | 250      | 150      | 190      | 150      | 250      | 200       |
| Эквивалентная<br>шероховатость,<br>мм                 | 0,50     | 1,00     | 0,30     | 0,50     | 1,00     | 0,25     | 0,15     | 0,25     | 0,50     | 0,35      |
| Число труб  | 2        | 3        | 4        | 2        | 3        | 4        | 3        | 2        | 3        | 4         |
| Длины труб, м   |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
| $L_1$   | 40       | 25       | 17       | 60       | 15       | 20       | 17       | 36       | 10       | 17        |
| $L_2$   | 35       | 15       | 20       | 30       | 35       | 12       | 12       | 26       | 10       | 19        |
| $L_3$   | -        | 20       | 12       | -        | 10       | 20       | 29       | -        | 25       | 12        |
| $L_4$   | -        | -        | 10       | -        | -        | 12       | -        | -        | -        | 14        |
| Длина лупинга $L$                                     | 10       | 15       | 10       | 20       | 5        | 7        | 10       | 15       | 5        | 7         |
| Суммарные коэффициенты местных сопротивлений в трубах |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
| 1   | 2,5      | 3,5      | 3,0      | 4,5      | 2,5      | 2,0      | 1,8      | 2,5      | 4,0      | 2,0       |
| 2   | 2,0      | 2,5      | 3,5      | 2,5      | 3,0      | 2,4      | 2,0      | 3,0      | 3,0      | 2,5       |
| 3   | -        | 3,0      | 3,5      | -        | 3,5      | 2,4      | 25       | -        | -        | 3,0       |
| 4   | -        | -        | 3,0      | -        | -        | 2,0      | -        | -        | -        | 4,0       |

### **3. Гидравлический расчет промыслового сборного коллектора нефти**

#### *Содержание работы*

#### 1. Теоретическая часть.

- 1) Система сбора продукции скважин на промыслах.
- 2) Основы гидравлического расчета нефтепроводов, работающих при давлении выше давления насыщения нефти.

#### 2. Расчетная часть.

Гидравлический расчет элементов сборного коллектора для безводной нефти.

- 1) Определение давления на устьях эксплуатационных скважин.
- 2) Определение диаметра выкидной линии скважины по заданному максимально-допустимому перепаду давления на ней.
- 3) Определение минимально-необходимой толщины стенок труб участков коллектора.

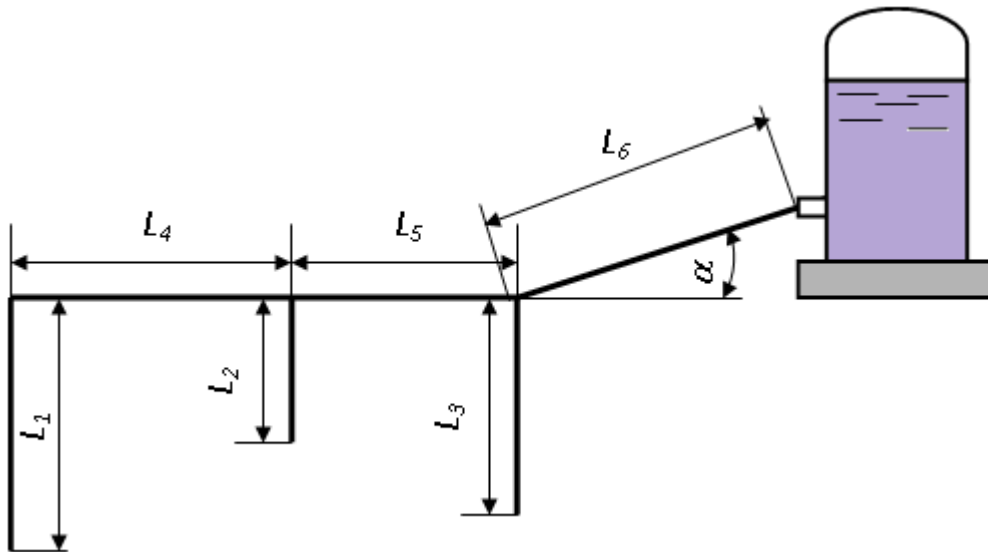
#### *Методические указания:*

1. Участки 1, 2, 3, 4, 5 расположены горизонтально.
2. В теоретической части дается общее представление о схеме сбора продукции скважин на промыслах и приводятся теоретические основы гидравлического расчета трубопровода и поясняются основные уравнения и формулы, используемые для этой цели. Здесь же рассматривается основа графоаналитического способа определения необходимого диаметра трубопровода.
3. В расчетной части дается обоснование, расчетные формулы и результаты расчетов. Диаметр труб должен быть найден с заданной точностью и уточнен по ГОСТ. Определение минимально необходимой толщины стенок труб производится по допускаемому напряжению на

растяжение для трубной стали с точностью до 0,5 мм. Потерями в местных сопротивлениях пренебречь.

4. Дается сводная таблица полученных результатов и ее анализ.

### *Схема сборного коллектора*



### *Исходные данные*

#### **Обозначения:**

$L_i$  – длины участков трубопровода;

$d_i$  – диаметры труб;

$\alpha$  - угол наклона коллектора к горизонту;

$p_K$  - конечное избыточное давление у трапа;

$\Delta p_{max}$  – максимально-допустимый перепад давления на выкидной линии скважины с неизвестным диаметром;

$Q_{mi}$  – дебит скважин;

$\rho$  - плотность нефти;

$\mu$  - динамический коэффициент вязкости нефти;

$\varepsilon$  - точность определения диаметра труб.

Состояние труб: Н – новые, С – средние, О – очищенные после коррозии.

| Варианты                   |          | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8     | 9    | 10   |
|----------------------------|----------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|
| Данные                     |          |      |      |      |      |      |      |      |       |      |      |
| Длины,<br>км               | $L_1$    | 2,0  | 1,5  | 1,0  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6   | 1,7  | 1,8  |
|                            | $L_2$    | 2,0  | 1,8  | 1,6  | 1,8  | 1,7  | 1,6  | 1,5  | 1,4   | 1,3  | 1,2  |
|                            | $L_3$    | 3,5  | 2,0  | 1,8  | 1,7  | 1,6  | 1,5  | 1,6  | 1,7   | 1,8  | 1,9  |
|                            | $L_4$    | 1,5  | 1,8  | 2,0  | 1,9  | 1,8  | 1,7  | 1,6  | 1,7   | 1,9  | 1,8  |
|                            | $L_5$    | 1,5  | 1,3  | 0,9  | 1,2  | 1,3  | 1,4  | 1,5  | 1,6   | 1,7  | 1,5  |
|                            | $L_6$    | 10,0 | 9,0  | 8,0  | 7,0  | 6,0  | 5,0  | 6,0  | 7,0   | 8,0  | 9,0  |
| Диаметры<br>труб,<br>мм    | $d_1$    | 80   | 75   | 100  | 106  | 75   | 80   | 100  | ?     | ?    | ?    |
|                            | $d_2$    | ?    | 80   | 75   | ?    | 80   | ?    | ?    | 100   | 64   | 80   |
|                            | $d_3$    | 100  | ?    | ?    | 80   | ?    | 75   | 106  | 100   | 64   | 80   |
|                            | $d_4$    | 100  | 80   | 125  | 100  | 80   | 80   | 106  | 100   | 80   | 88   |
|                            | $d_5$    | 200  | 150  | 125  | 156  | 100  | 100  | 125  | 136   | 125  | 125  |
|                            | $d_6$    | 250  | 200  | 225  | 250  | 180  | 180  | 250  | 225   | 250  | 180  |
| Состояние<br>труб          |          | Н    | С    | С    | О    | Н    | О    | С    | Н     | С    | О    |
| $\alpha$ , градусы         |          | 5    | 6    | 8    | 14   | 5    | 6    | 17   | 3     | 9    | 5    |
| $p_K$ , МПа                |          | 0,03 | 0,04 | 0,01 | 0,01 | 0,04 | 0,05 | 0,01 | 0,003 | 0,04 | 0,02 |
| $\Delta p_{max}$ , Мпа     |          | 0,05 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,06  | 0,05 | 0,06 |
| Дебит<br>скважин,<br>Т/сут | $Q_{m1}$ | 160  | 120  | 220  | 240  | 150  | 190  | 250  | 180   | 210  | 190  |
|                            | $Q_{m2}$ | 200  | 150  | 100  | 125  | 200  | 320  | 150  | 350   | 120  | 220  |
|                            | $Q_{m3}$ | 300  | 200  | 220  | 150  | 210  | 170  | 320  | 200   | 200  | 200  |

Гидравлический расчет сложных трубопроводов

|                            |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | 850 | 840 | 830 | 860 | 870 | 880 | 850 | 800 | 820 | 870 |
| $\mu \cdot 10^2$ , Па·с    | 2,0 | 1,5 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,1 | 0,9 | 0,5 | 0,6 | 2,1 |
| $\varepsilon$ , мм         | 2   | 3   | 4   | 5   | 4   | 3   | 2   | 3   | 4   | 5   |

#### 4. Расчет всасывающей линии насоса

##### *Содержание работы*

##### 1. Теоретическая часть.

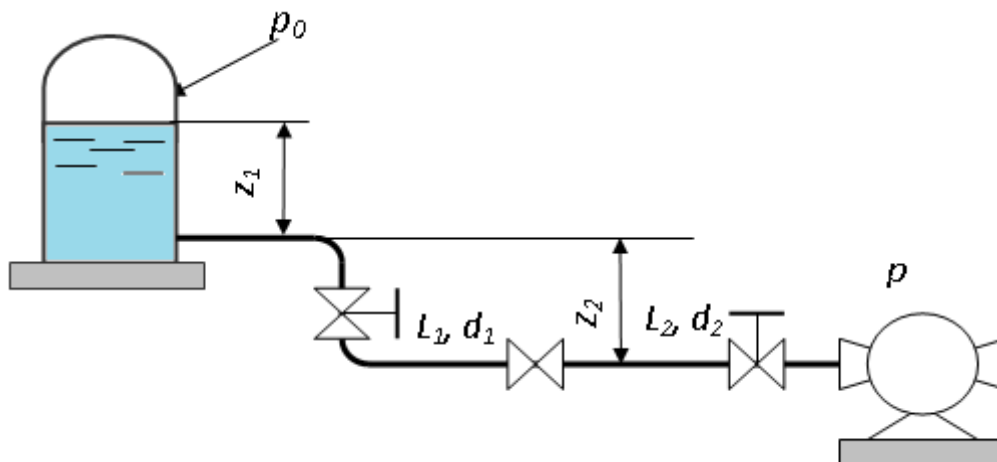
Теоретические основы гидравлического расчета всасывающей линии насосной установки и сложного трубопровода.

##### 2. Расчетная часть.

На рисунке представлена схема всасывания насоса. Даны: геометрические размеры этой схемы, свойства жидкости при температуре  $t_0$ . Оценить расход и всасывающую способность насоса, если давление на входе не должно опускаться ниже  $p = 20$  кПа. При расчетах учесть местные сопротивления: 2 задвижки, расширение трубы, 2 поворота. Трубы стальные бесшовные новые.

- 1) Найти расход в трубопроводе, рассчитав предварительно физические свойства нефти при заданной температуре.
- 2) Как изменится расход в трубопроводе, если температура нефти будет равна  $25\text{ }^\circ\text{C}$ ?
- 3) Как изменится по пункту 1 расход в трубопроводе, если в трубах образуются отложения?
- 4) Как изменится расход в системе, если для пункта 3 уровень нефти в резервуаре  $z_1$ , упадет в 2 раза?
- 5) Как изменится расход в системе, если для случая 4 задвижка на входе в насос будет прикрыта в 2 раза?
- 6) Какое нужно установить давление  $P_0$ , чтобы при расходе по пункту 5 задвижку на входе прикрыть в 5 раз?
- 7) Как изменится на входе в насос давление, если расход по пунктам 1, 2, 3 уменьшить на 30 %?

##### *Схема гидравлической системы*



**Исходные данные**

| Варианты                   |       | Данные |      |     |      |      |      |      |     |      |     |
|----------------------------|-------|--------|------|-----|------|------|------|------|-----|------|-----|
|                            |       | 1      | 2    | 3   | 4    | 5    | 6    | 7    | 8   | 9    | 10  |
| Длины, м                   | $L_1$ | 400    | 500  | 450 | 350  | 300  | 400  | 350  | 550 | 320  | 475 |
|                            | $L_2$ | 300    | 200  | 400 | 450  | 400  | 350  | 500  | 200 | 640  | 225 |
| Диаметры труб, м           | $d_1$ | 0,2    | 0,25 | 0,3 | 0,2  | 0,3  | 0,25 | 0,3  | 0,2 | 0,25 | 0,4 |
|                            | $d_2$ | 0,25   | 0,2  | 0,3 | 0,25 | 0,25 | 0,2  | 0,35 | 0,3 | 0,3  | 3,5 |
| $z_1$ , м                  |       | 4      | 3    | 4   | 5    | 4    | 2    | 2    | 3   | 4    | 1   |
| $z_2$ , м                  |       | 2      | 2    | 3   | 1    | 5    | 1    | 4    | 4   | 1    | 2   |
| $p_0 \cdot 10^{-5}$ , МПа  |       | 1,1    | 1,4  | 1,2 | 1,2  | 1,4  | 1,5  | 1,1  | 1,3 | 1,2  | 1,5 |
| Состояние труб             |       | Н      | С    | С   | О    | Н    | О    | С    | Н   | С    | О   |
| $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> |       | 850    | 840  | 830 | 860  | 870  | 880  | 850  | 800 | 820  | 870 |
| $\nu \cdot 10^4$ , Па·с    |       | 0,6    | 0,5  | 0,6 | 0,8  | 1,0  | 1,1  | 0,9  | 0,5 | 0,6  | 0,4 |
| $t$ , °С                   |       | 15     | 30   | 40  | 20   | 40   | 20   | 20   | 30  | 40   | 35  |

Состояние труб: Н – новые, С – средние, О – очищенные после коррозии.



## 5. Гидравлический расчет всасывающей линии насосной установки

### Содержание работы

#### 1. Теоретическая часть.

Теоретические основы гидравлического расчета всасывающей

#### 2. Расчетная часть.

- 1) Расчет необходимого количества насосных установок.
- 2) Исследование возможности улучшения работоспособности всасывающей линии.

### Исходные данные

| Данные                       | Варианты |        |         |                      |        |
|------------------------------|----------|--------|---------|----------------------|--------|
|                              | 1        | 2      | 3       | 4                    | 5      |
| $L, \text{ м}$               | 100      | 200    | 150     | 300                  | 250    |
| $H, \text{ м}$               | 4        | 4      | 5       | 3                    | 5      |
| $D, \text{ мм}$              | 200      | 250    | 300     | 350                  | 200    |
| $\zeta_z$                    | 1,0      | 0,9    | 0,4     | 0,2                  | 0,5    |
| $\zeta_{\phi}^*$             | 10       | 12     | 14      | 8                    | 9      |
| $\zeta_{\text{кол}}$         | 0,25     |        |         |                      |        |
| $T, \text{ С}^\circ$         | 20       | 15     | 5       | 20                   | 25     |
| $\rho, \text{ кг/м}^3$       | 1000     | 720    | 805     | 819                  | 715    |
| Вид жидкости                 | вода     | бензин | керосин | дизельное<br>топливо | бензин |
| $Q, \text{ м}^3/\text{с}$    | 0,20     | 0,30   | 0,5     | 0,75                 | 0,20   |
| Атмосферное давление,<br>кПа | 98       | 98     | 98      | 98                   | 98     |

\* Коэффициент местного сопротивления  $\zeta_f$  учитывает сопротивления фильтра и клапана.

### ***Методические указания***

Каждая всасывающая линия насосной установки оборудована фильтром, клапаном, задвижкой и двумя коленами.

В теоретической части работы рассматриваются общие принципы расчета трубопроводов по определению необходимого напора, расхода и диаметра.

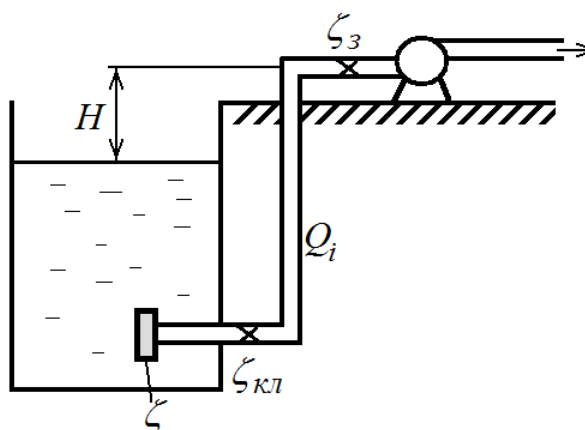
В расчетной части дается обоснование этапов решения задачи.

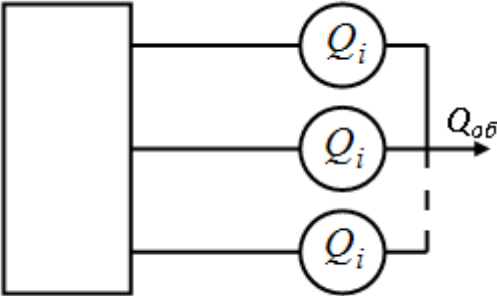
Приводится метод определения максимального расхода жидкости во всасывающей линии.

Определяется количество насосных установок, исходя из заданного общего расхода жидкости.

Исследуется влияние диаметра всасывающей линии установки в указанных пределах.

### ***Схема гидравлической системы***





## 6. Гидравлический расчет параметров кустовой насосной станции

### *Содержание работы*

#### 1. Теоретическая часть.

Теоретические основы гидравлического расчета сложных трубопроводов.

#### 2. Расчетная часть.

Гидравлический расчет параметров насоса кустовой насосной станции:

- а) Определение диаметров труб основного водовода и скважинных ответвлений.
- б) Определение суммарных коэффициентов местных сопротивлений скважинных ответвлений водоводов для создания заданного устьевого давления на скважинах при заданной их приемистости.

Для скважинных ответвлений после определения реальных диаметров труб и потерь давления в них определяются суммарные значения коэффициентов местных сопротивлений, при которых падение давления на ответвлениях будут соответствовать требуемому падению давления.

### *Схема кустовой насосной станции*



**Исходные данные**

| <b>Варианты<br/>Данные</b>              | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>8</b> | <b>9</b> | <b>10</b> |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| Количество<br>нагнетательных<br>скважин | 3        | 4        | 5        | 6        | 5        | 4        | 3        | 4        | 5        | 6         |
| Длины участков, м                       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
| $L_1$                                   | 1500     | 1100     | 2100     | 3000     | 2000     | 1000     | 800      | 2500     | 3000     | 1500      |
| $L_2$                                   | 400      | 700      | 500      | 900      | 1000     | 1100     | 700      | 1800     | 2500     | 1200      |
| $L_3$                                   | 800      | 700      | 500      | 800      | 1000     | 800      | 600      | 1000     | 1000     | 800       |
| $L_4$                                   | -        | 700      | 500      | 800      | 200      | 1000     | -        | 800      | 1000     | 800       |
| $L_5$                                   | -        | -        | 500      | 700      | 200      | -        | -        | -        | 500      | 1000      |
| $L_6$                                   | -        | -        | -        | 500      | -        | -        | -        | -        | -        | 1000      |
| Длины ответвлений, м                    |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
| $L_{1СК}$                               | 450      | 800      | 300      | 300      | 1000     | 500      | 250      | 400      | 600      | 500       |
| $L_{2СК}$                               | 500      | 600      | 400      | 500      | 250      | 500      | 200      | 300      | 600      | 500       |
| $L_{3СК}$                               | 600      | 450      | 500      | 300      | 400      | 450      | 150      | 300      | 500      | 450       |
| $L_{4СК}$                               | -        | 700      | 600      | 500      | 200      | 350      | -        | 500      | 500      | 450       |
| $L_{5СК}$                               | -        | -        | 700      | 400      | 200      | -        | -        | -        | 450      | 500       |
| $L_{6СК}$                               | -        | -        | -        | 400      | -        | -        | -        | -        | -        | 500       |
| Эквивалентная<br>шероховатость,<br>мм   | 0,50     | 0,80     | 0,80     | 0,15     | 0,15     | 0,50     | 0,25     | 0,15     | 0,10     | 0,30      |
| Избыточное устьевое давление, МПа       |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
| $p_{1СК}$                               | 0,25     | 0,55     | 0,30     | 0,35     | 0,48     | 0,8      | 0,50     | 0,50     | 0,77     | 0,67      |
| $p_{2СК}$                               | 0,30     | 0,20     | 0,25     | 0,35     | 0,48     | 0,55     | 0,35     | 0,40     | 0,55     | 0,58      |
| $p_{3СК}$                               | 0,15     | 0,25     | 0,20     | 0,27     | 0,20     | 0,30     | 0,20     | 0,30     | 0,40     | 0,44      |
| $p_{4СК}$                               | -        | 0,30     | 0,15     | 0,24     | 0,20     | 0,25     | -        | 0,30     | 0,25     | 0,42      |
| $p_{5СК}$                               | -        | -        | 0,15     | 0,16     | 0,16     | -        | -        | -        | 0,12     | 0,20      |

|  |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| $P_{6СК}$  | -        | -        | -        | 0,16     | -        | -        | -        | -        | -        | 0,10      |
| <b>Варианты<br/>Данные</b>                               | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>8</b> | <b>9</b> | <b>10</b> |
| Максимальное избыточное давление на насосе, МПа          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
| $P_{max}$  | 0,8      | 1,1      | 0,5      | 0,6      | 1,2      | 1,2      | 0,6      | 0,8      | 1,3      | 0,9       |
| Максимально допустимая скорость в основном водоводе, м/с |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
| $v_{max}$  | 1,5      | 1,8      | 1,3      | 1,2      | 2,0      | 1,7      | 1,5      | 1,6      | 1,6      | 1,4       |
| Приемистость скважин, м <sup>3</sup> /ч                  |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
| $Q_{1СК}$  | 60       | 40       | 30       | 35       | 40       | 40       | 100      | 50       | 40       | 25        |
| $Q_{2СК}$  | 60       | 60       | 30       | 30       | 20       | 30       | 40       | 40       | 20       | 25        |
| $Q_{СК}$   | 50       | 50       | 30       | 25       | 40       | 30       | 60       | 30       | 20       | 25        |
| $Q_{4СК}$  | -        | 20       | 30       | 25       | 25       | 20       | -        | 30       | 40       | 25        |
| $Q_{5СК}$  | -        | -        | 30       | 30       | 50       | -        | -        | -        | 30       | 25        |
| $Q_{6СК}$  | -        | -        | -        | 25       | -        | -        | -        | -        | -        | 25        |
| Температура<br>воды, С°                                  | 10       | 10       | 15       | 20       | 25       | 20       | 15       | 10       | 15       | 10        |

### **Методические указания**

В теоретической части дается общее представление о гидравлическом расчете трубопроводов и приводятся расчетные уравнения и формулы.

В расчетной части проводится гидравлический расчет промышленного трубопровода данного типа.

Определение диаметра начального участка основного водовода ведется по заданной максимальной скорости в нем, остальных участков – из требования одинаковых гидравлических уклонов в них;

При определении диаметров труб скважинных ответвлений используется графоаналитический метод.

Для того, чтобы более точно получить заданное давление на скважинах, добавить местные сопротивления на скважинных ответвлений.

## 7. Гидравлический расчет резервуара с коммуникациями

### Содержание работы

#### 1. Теоретическая часть.

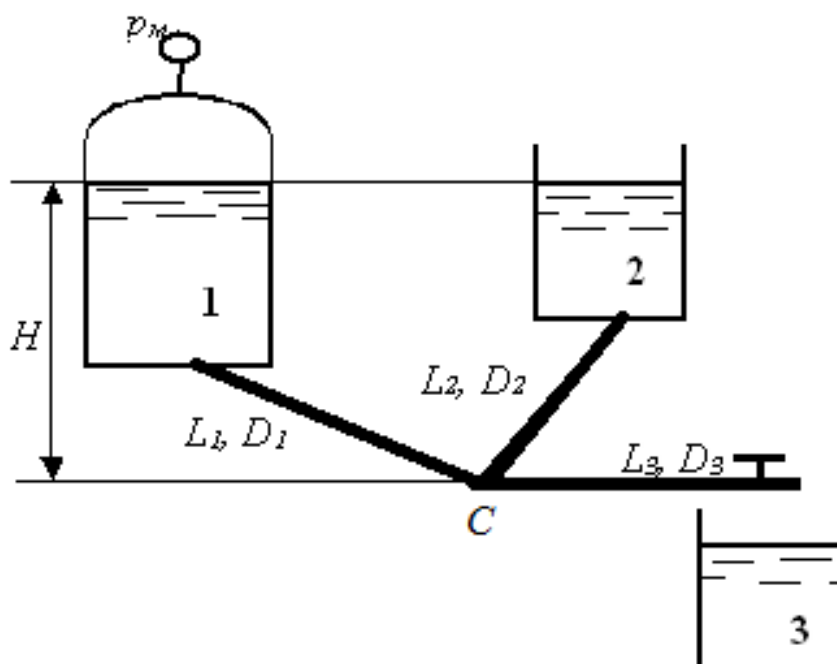
Теоретические основы гидравлического расчета сложных трубопроводов и трубопроводов, работающих под вакуумом.

#### 2. Расчетная часть.

Резервуары 1, 2, 3 соединены трубами. По ним течет нефть с вязкостью  $\nu$  и плотностью  $\rho$ . Третья труба расположена горизонтально и имеет открытую задвижку. Трубы стальные сварные с большими отложениями. Величины, указанные на чертеже, приводятся в таблице.

- 1) Определить расходы в трубах и полный напор в точке С.
- 2) Определить геометрический напор в т. С, при котором жидкость в т. С закипит.
- 3) Найти расходы при закрытой задвижке на 3-ей трубе.

### Схема гидравлической системы



*Исходные данные*

| <b>Варианты</b><br><b>Данные</b>                                   | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>8</b> | <b>9</b> | <b>10</b> |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| Давление насыщенных паров нефти<br>$p_{н.п.}$ , кПа.               | 30       | 32       | 29       | 35       | 31       | 30       | 32       | 29       | 35       | 30        |
| Длины участков, м  |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
| $L_1$  | 80       | 160      | 100      | 100      | 100      | 100      | 80       | 250      | 300      | 150       |
| $L_2$  | 110      | 200      | 150      | 90       | 190      | 190      | 70       | 150      | 250      | 120       |
| $L_3$  | 110      | 150      | 100      | 80       | 180      | 180      | 60       | 90       | 100      | 50        |
| Диаметры линий, мм   |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
| $d_1$  | 75       | 75       | 90       | 85       | 80       | 70       | 75       | 85       | 80       | 75        |
| $d_2$  | 50       | 60       | 50       | 65       | 55       | 70       | 50       | 50       | 60       | 60        |
| $d_3$  | 75       | 85       | 80       | 90       | 85       | 100      | 80       | 85       | 80       | 80        |
| $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>   | 800      | 900      | 850      | 800      | 950      | 800      | 800      | 900      | 800      | 850       |
| $\nu$ , м <sup>2</sup> /с · 10 <sup>-4</sup>                       | 0,1      | 0,5      | 0,5      | 0,3      | 0,1      | 0,2      | 0,15     | 0,3      | 0,1      | 0,1       |
| Избыточное давление в 1-м резервуаре<br>$p_m$ , 10 <sup>5</sup> Па | 3,5      | 4,0      | 3,0      | 4,0      | 3,5      | 2,5      | 2,0      | 2,8      | 2,2      | 2,0       |
| Уровень в резервуарах<br>$H$ , м                                   | 15       | 12       | 10       | 12       | 15       | 12       | 18       | 15       | 12       | 10        |



## 8. Гидравлический расчет нагнетательной линии

### Содержание работы

#### 1. Теоретическая часть.

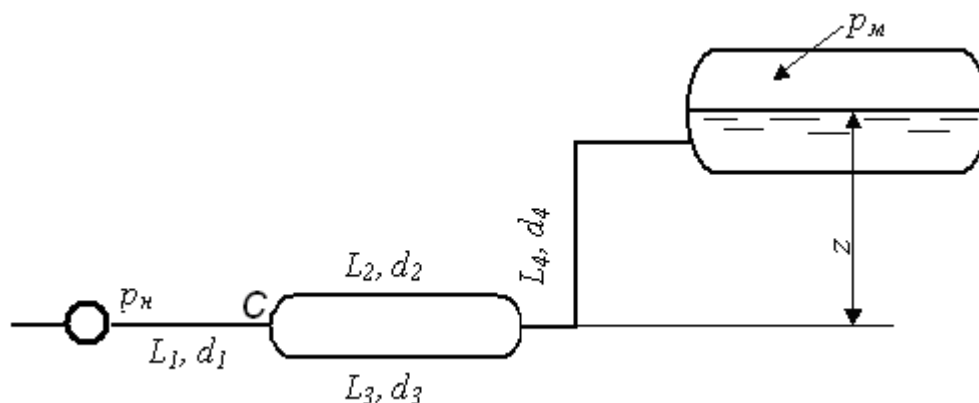
Теоретические основы гидравлического расчета всасывающей линии насосной установки.

#### 2. Расчетная часть.

Насос по трубам перекачивает нефть в емкость. Величины, указанные на чертеже, заданы. Перекачка идет по стальным сварным трубам, сильно заржавевшим с большими отложениями.

- 1) Определить расходы в трубах и давление в точке С, которая находится на одном уровне с насосом.
- 2) Как изменятся расходы в трубах и давление в точке С, если заменить трубы на стальные новые бесшовные?

### Схема гидравлической системы



### Исходные данные

|          |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |
|----------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| Варианты | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| Данные   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |

Гидравлический расчет сложных трубопроводов

|  |     |     |     |      |     |     |      |     |      |      |
|--|-----|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|------|------|
| Давление нагнетания насоса $p_n$ (избыточное), кПа.          | 250 | 300 | 290 | 310  | 290 | 300 | 220  | 290 | 270  | 260  |
| Длины участков, км   |     |     |     |      |     |     |      |     |      |      |
| $L_1$  | 2,5 | 3   | 2   | 1    | 3   | 2   | 3    | 3   | 3    | 3    |
| $L_2$  | 1   | 1,5 | 3   | 2    | 2   | 1   | 2    | 2   | 1    | 2    |
| $L_3$  | 4   | 2   | 1   | 3    | 1   | 3   | 2    | 2   | 2    | 2    |
| $L_4$  | 2   | 3   | 4   | 4    | 4   | 2   | 1    | 3   | 1    | 2    |
| Диаметры линий, мм   |     |     |     |      |     |     |      |     |      |      |
| $d_1$  | 250 | 250 | 200 | 200  | 150 | 200 | 300  | 250 | 200  | 250  |
| $d_2$  | 150 | 150 | 200 | 150  | 200 | 200 | 200  | 150 | 150  | 250  |
| $d_3$  | 200 | 150 | 150 | 200  | 250 | 200 | 150  | 200 | 250  | 220  |
| $d_4$  | 250 | 300 | 250 | 220  | 200 | 250 | 250  | 300 | 200  | 280  |
| $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>                                   | 850 | 900 | 850 | 800  | 950 | 850 | 850  | 900 | 800  | 850  |
| $\nu$ , м <sup>2</sup> /с · 10 <sup>-4</sup>                 | 0,2 | 0,5 | 0,5 | 0,3  | 0,2 | 0,2 | 0,15 | 0,3 | 0,25 | 0,25 |
| Избыточное давление в резервуаре $p_m$ , 10 <sup>4</sup> Па, | 2,5 | 3,0 | 2,0 | 34,0 | 2,5 | 3,5 | 2,2  | 2,8 | 3,2  | 2,5  |
| Разность уровней в резервуарах $z$ , м                       | 13  | 15  | 10  | 12   | 15  | 10  | 15   | 15  | 11   | 8    |

## 9. Гидравлический расчет сложного разветвленного трубопровода

### *Содержание работы*

#### 1. Теоретическая часть.

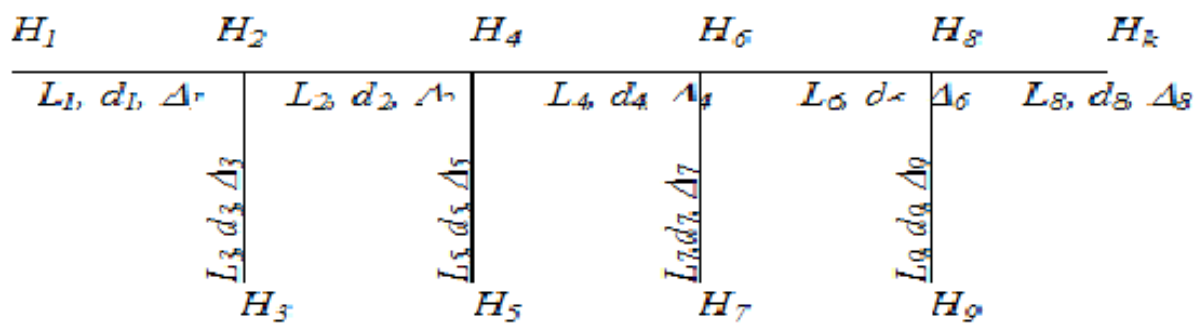
Принципы гидравлического расчета сложных трубопроводов. Расчет трубопроводов, соединенных последовательно и параллельно.

#### 2. Расчетная часть.

Заданы напоры в конечных пунктах разветвленной водопроводной сети (в пунктах потребления), линейные размеры трубопровода (диаметры участков, их длины и шероховатости труб). Известна также скорость течения в конечном пункте потребления. Схема трубопровода приведена на рисунке. Вязкость жидкости считается известной и постоянной по всей длине трубопровода. Все исходные данные приведены в таблице.

- 1) Определить напоры  $H_2$ ,  $H_4$ ,  $H_6$  и  $H_8$  в узловых точках и начальный напор  $H_1$ .
- 2) Найти расходы и скорости течения на всех участках разветвленного трубопровода.
- 3) Рассчитать изменение всех искомых параметров при изменении скорости  $v_K$  в конечном пункте потребления.
- 4) Построить характеристику трубопровода  $H = H(Q)$ .

### *Схема трубопровода*



### Методические указания

Потерями энергии в местных сопротивлениях пренебречь

По известной скорости  $v_K$  в конечном пункте потребления вычисляется число Рейнольдса  $Re$  и определяется режим течения жидкости. Рассчитываются потери напора на участке длиной  $L_8$ , по известному напору  $H_K$  находят напор  $H_8$ .

Зная напоры  $H_8$  и  $H_9$ , определяют потери напора.

Расход на этом участке трубопровода определяется графоаналитическим методом. В результате решения находят расход и скорость на этом участке. Если  $H_9 \geq H_8$ , то  $Q_9 = 0$ .

Определяют неизвестные расходы и скорости на всех участках трубопровода.

Изменяют скорость течения  $v_K$  в конечном пункте потребления и определяют все требуемые параметры: расходы и скорости на всех участках, а также напоры в узловых точках.

В выводах указать возможные пути повышения расхода трубопровода и отдельных его участков.

### Исходные данные

| Величины | Варианты |    |    |    |    |
|----------|----------|----|----|----|----|
|          | 1.       | 2. | 3. | 4. | 5. |
|          |          |    |    |    |    |

|   |         |         |         |          |         |
|---|---------|---------|---------|----------|---------|
| $H_3$ , м                                 | 5       | 10      | 15      | 20       | 10      |
| $H_5$ , м                                 | 5       | 10      | 15      | 20       | 10      |
| $H_7$ , м                                 | 5       | 10      | 15      | 20       | 10      |
| $H_9$ , м                                 | 5       | 10      | 15      | 20       | 10      |
| $\nu$ , м <sup>2</sup> /с·10 <sup>6</sup> | 21,8    | 7,64    | 11,0    | 25,7     | 15,0    |
| $\nu_K$ , м/с                             | 0,2-0,3 | 0,3-0,4 | 0,4-0,5 | 0,15-0,3 | 0,1-0,2 |
| $H_K$ , м                                 | 5       | 10      | 15      | 20       | 10      |

Для вариантов 1-5

| Величины                    | Участки |     |     |     |     |     |     |      |     |
|-----------------------------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-----|
|                             | 1.      | 2.  | 3.  | 4.  | 5.  | 6.  | 7.  | 8.   | 9.  |
| $d$ , мм                    | 402     | 402 | 180 | 402 | 156 | 402 | 136 | 402  | 156 |
| $L$ , м                     | 700     | 600 | 300 | 800 | 400 | 700 | 600 | 1200 | 200 |
| $\Delta \cdot 10^{-2}$ , мм | 15      | 15  | 17  | 15  | 17  | 15  | 6   | 15   | 6   |

## 10. Гидравлический расчет трубопроводной системы

### Содержание работы

#### 1. Теоретическая часть.

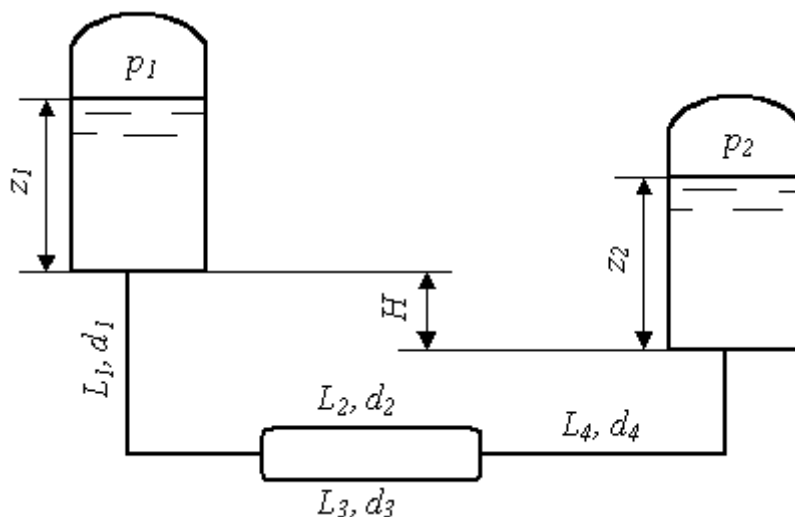
Теоретические основы гидравлического расчета сложных трубопроводов.

#### 2. Расчетная часть.

Разность отметок между днищами резервуаров  $H$ . Резервуары соединены трубами, из которых вторая и третья проложены параллельно. Труба 3 имеет задвижку. Трубы стальные бесшовные новые.

- 1) Определить расход нефти в трубах, проложенных между резервуарами, имеющими давление  $p_1$  и  $p_2$  и уровни нефти в них  $z_1$  и  $z_2$ .
- 2) Определить расходы в трубах.
- 3) Как изменятся эти расходы, если закрыть задвижку?
- 4) Повторить расчеты по пунктам 1, 2, если в трубах образуются значительные отложения.
- 5) Оценить, в каких пределах (в процентах) изменится расход в системе по пункту 1, если уровни в резервуарах станут одинаковыми.

Схема гидравлической системы



**Исходные данные**

| <b>Варианты</b><br>Данные            | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>8</b> | <b>9</b> | <b>10</b> |
|--------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| $p_1$ , кПа                          | 200      | 250      | 300      | 200      | 280      | 220      | 200      | 170      | 200      | 300       |
| $p_2$ , кПа                          | 150      | 130      | 160      | 140      | 150      | 130      | 160      | 120      | 130      | 180       |
| Длины участков, км                   |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
| $L_1$                                | 2,0      | 4        | 3,5      | 1,0      | 3,5      | 4,0      | 3,5      | 3,0      | 2,5      | 2,0       |
| $L_2$                                | 3,0      | 3,5      | 2,0      | 3,0      | 2,5      | 3,0      | 4,0      | 4,0      | 1,5      | 2,0       |
| $L_3$                                | 3,5      | 3        | 2,5      | 2,5      | 3,0      | 2,0      | 3,5      | 3,0      | 2,0      | 2,5       |
| $L_4$                                | 1,0      | 0,5      | 2,5      | 3,0      | 3,0      | 4,5      | 3,0      | 2,5      | 3,5      | 2,8       |
| Диаметры линий, м                    |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
| $d_1$                                | 0,2      | 0,2      | 0,2      | 0,3      | 0,2      | 0,35     | 0,2      | 0,3      | 0,2      | 0,3       |
| $d_2$                                | 0,15     | 0,2      | 0,15     | 0,15     | 0,2      | 0,2      | 0,15     | 0,2      | 0,15     | 0,2       |
| $d_3$                                | 0,15     | 0,15     | 0,2      | 0,25     | 0,15     | 0,15     | 0,2      | 0,2      | 0,15     | 0,2       |
| $d_4$                                | 0,2      | 0,2      | 0,25     | 0,35     | 0,25     | 0,35     | 0,2      | 0,3      | 0,3      | 0,3       |
| Геометрические высоты                |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
| $z_1$                                | 5        | 20       | 25       | 30       | 35       | 30       | 25       | 20       | 15       | 30        |
| $z_2$                                | 7        | 15       | 25       | 25       | 25       | 20       | 15       | 25       | 30       | 25        |
| $H$ , м                              | 10       | 1,5      | 0,5      | 0,0      | -1,0     | -1,5     | 0,5      | 0,0      | 2,0      | 0,8       |
| $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>           | 810      | 900      | 850      | 810      | 950      | 800      | 800      | 900      | 820      | 850       |
| $\nu \cdot 10^5$ , м <sup>2</sup> /с | 1        | 2        | 1,5      | 2        | 4        | 2,5      | 2        | 1        | 5        | 0,1       |

## 11. Гидравлический расчет системы с ответвлениями

### *Содержание работы*

#### 1. Теоретическая часть.

Теоретические основы гидравлического расчета всасывающей линии насосной установки и сложных трубопроводов.

#### 2. Расчетная часть.

Насос подает жидкость из емкости А в резервуары В и С с общим расходом  $Q_0$ ; заданы высоты  $H_1, H_2, H_3$ , отсчитываемые от оси насоса, а также длины и диаметры: всасывающей линии  $L_1, d_1$ ; напорной линии  $L_0, d_0$  до разветвления; линий, ведущих к резервуарам  $L_2, d_2, L_3, d_3$ .

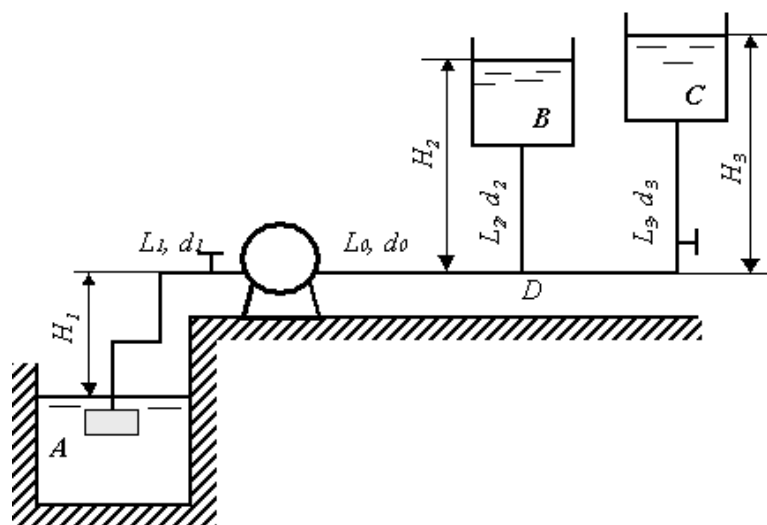
Все трубы стальные, бесшовные, несколько лет бывшие в эксплуатации. На рисунке показаны местные сопротивления: приемный клапан с сеткой, повороты (прямое колено), задвижки; учесть также сопротивления при выходе в резервуары.

Все коэффициенты определить по справочнику.

- 1) Определить расходы жидкости  $Q_2$  и  $Q_3$ , поступающие в резервуары В и С.
- 2) Определить давление в точке D.
- 3) Определить напор и полезную мощность насоса.
- 4) Определить при заданном расходе  $Q_0$  наибольшую высоту всасывания  $H_{I_{max}}$ , если вакуумметрический напор на входе в насос не должен быть более 4 м.
- 5) Определить длину вставки ( $L_4$ ) диаметром  $d_4$  одной из труб, чтобы расходы на линиях, ведущих к резервуарам, стали одинаковыми ( $Q_2 = Q_3$ ).

### *Схема гидравлической системы*





*Исходные данные*

| Варианты                               | 1     | 2     | 3    | 4    | 5     | 6    | 7     | 8    | 9    | 10   |
|--|-------|-------|------|------|-------|------|-------|------|------|------|
| Данные                                 |       |       |      |      |       |      |       |      |      |      |
| $Q, \text{ м}^3/\text{с}$              | 0,035 | 0,055 | 0,04 | 0,05 | 0,035 | 0,05 | 0,035 | 0,04 | 0,03 | 0,05 |
| Длины участков, м                      |       |       |      |      |       |      |       |      |      |      |
| $L_0$                                  | 15    | 20    | 10   | 12   | 5     | 4    | 5     | 6    | 7    | 8    |
| $L_1$                                  | 10    | 20    | 15   | 8    | 3,5   | 8    | 6     | 4    | 10   | 12   |
| $L_2$                                  | 25    | 25    | 10   | 15   | 10    | 13   | 20    | 20   | 15   | 15   |
| $L_3$                                  | 15    | 20    | 20   | 17   | 12    | 8    | 15    | 25   | 15   | 20   |
| Диаметры линий, мм                     |       |       |      |      |       |      |       |      |      |      |
| $d_0$                                  | 150   | 150   | 200  | 150  | 100   | 150  | 200   | 250  | 200  | 150  |
| $d_1$                                  | 200   | 125   | 150  | 125  | 100   | 100  | 150   | 200  | 150  | 150  |
| $d_2$                                  | 150   | 100   | 125  | 100  | 80    | 180  | 150   | 150  | 120  | 120  |
| $d_3$                                  | 100   | 125   | 125  | 100  | 100   | 150  | 150   | 150  | 150  | 120  |
| $\rho, \text{ кг/м}^3$                 | 810   | 900   | 850  | 810  | 950   | 800  | 800   | 900  | 820  | 850  |
| $\nu \cdot 10^5, \text{ м}^2/\text{с}$ | 1     | 0,2   | 1,5  | 2    | 0,4   | 0,5  | 2     | 1    | 0,5  | 0,1  |

## Гидравлический расчет сложных трубопроводов

---

|           |   |   |   |   |   |   |     |   |   |   |
|-----------|---|---|---|---|---|---|-----|---|---|---|
| $H_1$ , м | 1 | 2 | 2 | 1 | 2 | 1 | 2,5 | 2 | 2 | 2 |
| $H_2$ , м | 5 | 3 | 5 | 2 | 4 | 2 | 4   | 3 | 5 | 2 |
| $H_3$ , м | 2 | 3 | 4 | 2 | 2 | 5 | 4   | 3 | 1 | 1 |

### *Методические указания*

Расходы и давление в точке D определить графоаналитическим способом.

## 12. Гидравлический расчет и исследование сифонного слива для нефтепродукта

### *Содержание работы*

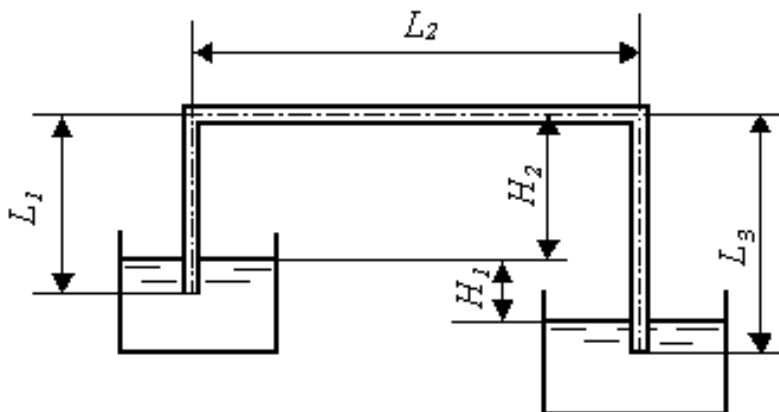
#### 1. Теоретическая часть.

Теоретические основы гидравлического расчета сифонных сливов и сложных трубопроводов.

#### 2. Расчетная часть.

- 1) Определение расхода жидкости через сифонный слив и проверка его работоспособности при заданных условиях перекачки.
- 2) Исследование возможности увеличения расхода жидкости путем изменения ее температуры или диаметра  $i$ -го участка.

### *Схема установки*



### *Методические указания*

В теоретической части приводятся и разъясняются основные понятия, уравнения и формулы применительно для расчета сложных трубопроводов и излагаются принципы расчета сифонных сливов.

В расчетной части обосновывается последовательность действий при выполнении задания. Рассматривается метод и приводится расчет расхода в сифонном сливе и устанавливается его работоспособность при заданной температуре.

Устанавливается возможность и желательность подогрева жидкости и указываются пути определения оптимальной ее температуры для получения максимального расхода. Исследуется также расход жидкости в заданных по условию пределах. Приводятся результаты расчетов и графики зависимости потерь от расхода  $h = h(Q)$  и расхода от вязкости  $Q = Q(\nu)$ .

### Исходные данные

| Варианты<br>Данные         | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Длины линий, м             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| $L_1$                      | 10   | 8    | 15   | 8    | 5    | 12   | 10   | 15   | 8    | 15   |
| $L_2$                      | 10   | 20   | 40   | 150  | 30   | 35   | 60   | 300  | 25   | 150  |
| $L_3$                      | 15   | 15   | 25   | 17   | 15   | 20   | 20   | 25   | 18   | 30   |
| Диаметры линий, мм         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| $d_1$                      | 100  | 125  | 75   | 50   | 80   | 100  | 125  | 150  | 75   | 80   |
| $d_2$                      | 150  | 100  | 125  | 100  | 80   | 180  | 150  | 150  | 120  | 120  |
| $d_3$                      | 100  | 125  | 125  | 100  | 100  | 150  | 150  | 150  | 150  | 120  |
| $\Delta$ , мм              | 0,50 | 0,05 | 0,10 | 0,15 | 0,08 | 0,25 | 0,08 | 0,80 | 1,00 | 0,20 |
| $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | 999  | 720  | 910  | 997  | 715  | 805  | 712  | 992  | 996  | 807  |
| $H$ , м                    | 4    | 3    | 4    | 3    | 3    | 4    | 3    | 2    | 2    | 3    |
| $H_1$ , м                  | 4    | 3    | 6    | 7    | 1    | 6    | 4    | 5    | 2    | 3    |
| $T$ , С°                   | 10   | 5    | 20   | 25   | 20   | 40   | 35   | 50   | 30   | 35   |

Гидравлический расчет сложных трубопроводов

|  |            |             |              |            |             |              |             |             |            |              |
|--|------------|-------------|--------------|------------|-------------|--------------|-------------|-------------|------------|--------------|
| $p_{атм}$ , кПа                                  | 98         | 100         | 102          | 99         | 105         | 98           | 97          | 99          | 101        | 100          |
| Возможные границы изменения диаметра участка, мм |            |             |              |            |             |              |             |             |            |              |
|  | 80-<br>150 | 100-<br>200 | 50-<br>125   | 25-<br>100 | 50-<br>150  | 75-<br>200   | 100-<br>250 | 125-<br>250 | 50-<br>125 | 75-<br>125   |
| Эквивалентная длина местных сопротивлений, %     |            |             |              |            |             |              |             |             |            |              |
|  | 10         | 15          | 12           | 8          | 15          | 12           | 10          | 15          | 5          | 10           |
| Вид жидкости                                     | Вода       | Бен-<br>зин | Керо-<br>син | Вода       | Бен-<br>зин | Керо-<br>син | Бен-<br>зин | Вода        | Вода       | Керо-<br>син |
| Номер участка,<br>с изменяемым<br>диаметром      | 1          | 2           | 3            | 1          | 2           | 3            | 1           | 2           | 3          | 1            |

### 13. Гидравлический расчет сложного трубопровода

#### Содержание работы

#### 1. Теоретическая часть.

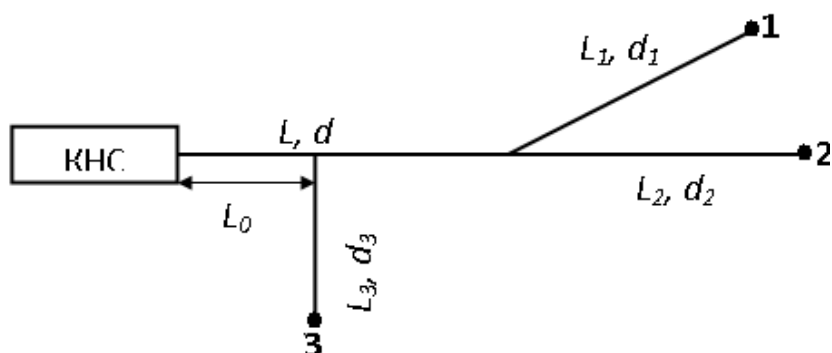
Теоретические основы гидравлического расчета сложных трубопроводов.

#### 2. Расчетная часть.

Кустовая насосная станция подает воду вязкостью  $\nu$  и плотностью  $\rho$  по коллектору длиной  $L$  и диаметром  $d$  к трем скважинам. Длины и диаметры разводящих линий заданы. Расстояния от КНС до скважин заданы. Расстояние от КНС до первого разветвления  $L_0$ .

- 1) Определить расходы  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$  к скважинам и общий расход воды через КНС  $Q$ , если давления на КНС и устьях скважин заданы. Расстояние от КНС до первого разветвления  $L_0$ .
- 2) Определить, каким должно быть давление на КНС, чтобы расход увеличился в 2 раза.
- 3) Каким в этом случае будет расход к каждой скважине при условии, что давление на устье осталось прежним?

#### Схема установки



**Исходные данные**

| Варианты<br>Данные                   | 1    | 2   | 3    | 4   | 5    | 6   | 7   | 8    | 9   | 10  |
|--------------------------------------|------|-----|------|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|
| Длины линий, м                       |      |     |      |     |      |     |     |      |     |     |
| $L$                                  | 1000 | 800 | 1000 | 900 | 1100 | 800 | 700 | 1000 | 800 | 800 |
| $L_0$                                | 200  | 200 | 250  | 230 | 200  | 150 | 100 | 200  | 300 | 150 |
| $L_1$                                | 100  | 150 | 150  | 130 | 300  | 200 | 200 | 200  | 300 | 200 |
| $L_2$                                | 150  | 150 | 200  | 180 | 200  | 100 | 200 | 150  | 300 | 200 |
| $L_3$                                | 200  | 150 | 200  | 200 | 150  | 100 | 200 | 150  | 100 | 100 |
| Диаметры линий, мм                   |      |     |      |     |      |     |     |      |     |     |
| $d$                                  | 425  | 500 | 425  | 425 | 475  | 400 | 415 | 425  | 425 | 450 |
| $d_1$                                | 245  | 245 | 230  | 260 | 220  | 245 | 235 | 245  | 205 | 245 |
| $d_2$                                | 270  | 280 | 275  | 250 | 270  | 220 | 240 | 220  | 270 | 250 |
| $d_3$                                | 220  | 220 | 220  | 220 | 245  | 200 | 200 | 220  | 220 | 220 |
| Давления на устьях скважин, МПа      |      |     |      |     |      |     |     |      |     |     |
| $p_1$                                | 0,7  | 0,6 | 0,8  | 0,7 | 0,5  | 0,7 | 0,5 | 0,7  | 0,7 | 0,7 |
| $p_2$                                | 0,8  | 0,5 | 0,8  | 0,7 | 0,7  | 0,6 | 0,8 | 0,5  | 0,8 | 0,8 |
| $p_3$                                | 0,6  | 0,8 | 0,6  | 0,8 | 0,8  | 0,7 | 0,8 | 0,6  | 0,9 | 0,7 |
| $p_{KHC}$                            | 2,5  | 2,4 | 2,8  | 3,0 | 3,5  | 3,0 | 2,2 | 2,0  | 2,7 | 3,0 |
| $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>           | 1000 |     |      |     |      |     |     |      |     |     |
| $\nu \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с | 1,05 |     |      |     |      |     |     |      |     |     |

## 14. Гидравлический расчет трубопроводной системы с замерной установкой

### Содержание работы

#### 1. Теоретическая часть.

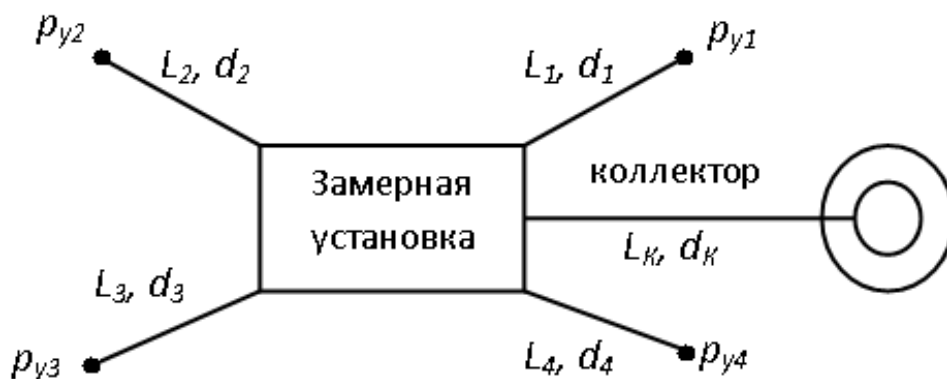
Теоретические основы гидравлического расчета сложных трубопроводов.

#### 2. Расчетная часть.

Нефть вязкостью  $\nu$  и плотностью  $\rho$  поступает с устьев 4-х скважин к замерной установке. Заданы: давления на устьях скважин  $p_{yi}$ , длины подводящих линий  $L_i$  и расходы  $Q_i$  по ним, длина коллектора  $L_K$ , диаметры  $d_2, d_K$ . Трубы стальные новые чистые.

- 1) Определить остальные диаметры труб  $d_1, d_3, d_4$ .
- 2) Найти давление на входе в насос.
- 3) Как изменится расход в коллекторе при установленных диаметрах труб при увеличении шероховатости в 10 раз?
- 4) Какое давление на входе в насос необходимо установить, чтобы оставить первоначальный расход в коллекторе при установленных диаметрах труб, при увеличении шероховатости в 10 раз?

### Схема установки





**Исходные данные**

| Варианты<br>Данные                      | 1                   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |
|---|---------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Приемистость скважин, м <sup>3</sup> /ч |                     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $Q_1$                                   | 100                 | 140 | 130 | 135 | 140 | 140 | 100 | 150 | 140 | 125 |
| $Q_2$                                   | 120                 | 160 | 130 | 130 | 120 | 130 | 140 | 140 | 80  | 125 |
| $Q_3$                                   | 90                  | 150 | 130 | 125 | 140 | 130 | 160 | 90  | 120 | 125 |
| $Q_4$                                   | 80                  | 120 | 130 | 125 | 125 | 120 | 90  | 130 | 80  | 125 |
| Длины линий, км                         |                     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $L_K$                                   | 5                   | 8   | 7   | 5   | 6   | 9   | 4   | 7   | 8   | 7   |
| $L_1$                                   | 5                   | 5   | 6   | 4   | 7   | 7   | 6   | 5   | 6   | 7   |
| $L_2$                                   | 4                   | 6   | 5   | 5   | 6   | 5   | 9   | 6   | 6   | 8   |
| $L_3$                                   | 6                   | 7   | 7   | 8   | 5   | 6   | 6   | 6   | 5   | 5   |
| $L_4$                                   | 7                   | 8   | 3   | 7   | 4   | 4   | 5   | 6   | 5   | 6   |
| Диаметры линий, мм                      |                     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $d_K$                                   | 300                 | 400 | 325 | 350 | 250 | 400 | 315 | 350 | 280 | 350 |
| $d_2$                                   | 200                 | 280 | 175 | 250 | 100 | 220 | 240 | 220 | 150 | 200 |
| Давления на устьях скважин, МПа         |                     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $p_{y1}$                                | 1,2                 | 0,6 | 0,8 | 0,7 | 0,5 | 0,7 | 0,5 | 0,7 | 0,7 | 0,7 |
| $p_{y2}$                                | 1,1                 | 0,5 | 0,8 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,8 | 0,5 | 0,8 | 0,8 |
| $p_{y3}$                                | 1,0                 | 0,8 | 0,6 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,6 | 0,9 | 0,7 |
| $p_{y4}$                                | 0,9                 | 0,8 | 0,6 | 0,8 | 0,8 | 0,7 | 0,8 | 0,6 | 0,9 | 0,7 |
| $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>              | 850                 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| $\nu$ , м <sup>2</sup> /с               | $0,3 \cdot 10^{-4}$ |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

## 15. Расчет трубопроводной системы самотечного слива

### Содержание работы

#### 1. Теоретическая часть.

Теоретические основы гидравлического расчета сложных трубопроводов.

#### 2. Расчетная часть.

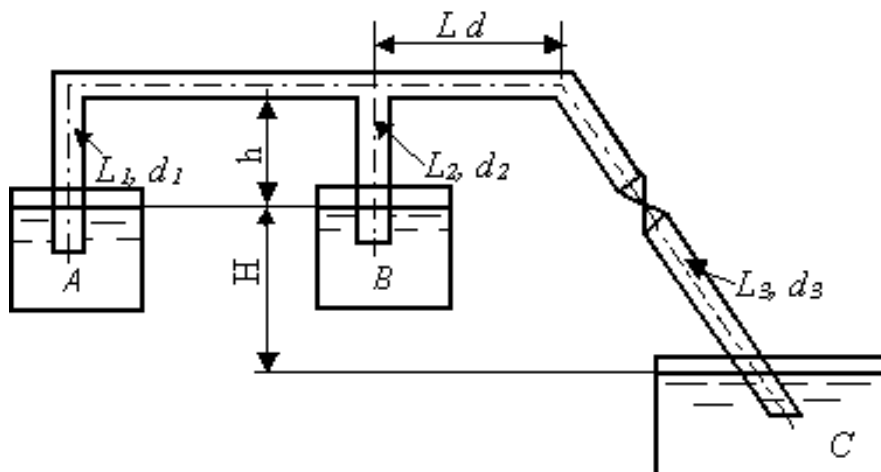
Расчет трубопроводной системы, служащей для слива воды из резервуаров А и В в резервуар С. Все резервуары открыты.

- 1) Определить расходы воды, поступающей в резервуар С при заданном напоре  $H$  и коэффициентом сопротивления задвижки  $\zeta$ , температуре воды  $T$  и абсолютной шероховатости  $\Delta$ .
- 2) Определить минимально возможную величину коэффициента местного сопротивления задвижки.

### Методические указания

При расчете необходимо учесть, что давление в любой точке трубопроводной системы не может быть ниже упругости насыщенного пара.

### Схема установки



**Исходные данные**

| Варианты<br>Данные                               | 1                   | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|--|---------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Длины линий, м                                   |                     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| $L_1$  | 200                 | 150  | 200  | 150  | 200  | 100  | 250  | 180  | 200  | 250  |
| $L_2$  | 100                 | 100  | 140  | 100  | 150  | 200  | 250  | 200  | 180  | 150  |
| $L_3$  | 600                 | 700  | 600  | 500  | 700  | 500  | 700  | 600  | 400  | 500  |
| $L$  | 60                  | 70   | 60   | 50   | 70   | 70   | 50   | 100  | 40   | 50   |
| Диаметры линий, мм                               |                     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| $d_1$  | 200                 | 200  | 150  | 180  | 150  | 200  | 215  | 250  | 180  | 250  |
| $d_2$  | 100                 | 150  | 120  | 150  | 130  | 220  | 240  | 220  | 150  | 200  |
| $d_3$  | 200                 | 200  | 150  | 280  | 250  | 300  | 240  | 320  | 250  | 200  |
| $d$  | 100                 | 150  | 200  | 120  | 100  | 200  | 250  | 200  | 250  | 250  |
| $H$ , м  | 14                  | 15   | 16   | 17   | 15   | 18   | 14   | 15   | 15   | 17   |
| $h$ , м  | 3                   | 4    | 5    | 6    | 3    | 5    | 4    | 7    | 3    | 5    |
| Эквивалентная<br>шероховатость,<br>$\Delta$ , мм | 0,05                | 0,10 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,50 | 1,00 | 0,50 | 0,15 |
| Температура,<br>$С^{\circ}$                      | 20                  | 25   | 17   | 15   | 20   | 25   | 15   | 20   | 15   | 10   |
| $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>                       | 850                 |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| $\nu$ , м <sup>2</sup> /с                        | $0,3 \cdot 10^{-4}$ |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

## 16. Гидравлический расчет промышленной системы.

### *Содержание работы*

#### 1. Теоретическая часть.

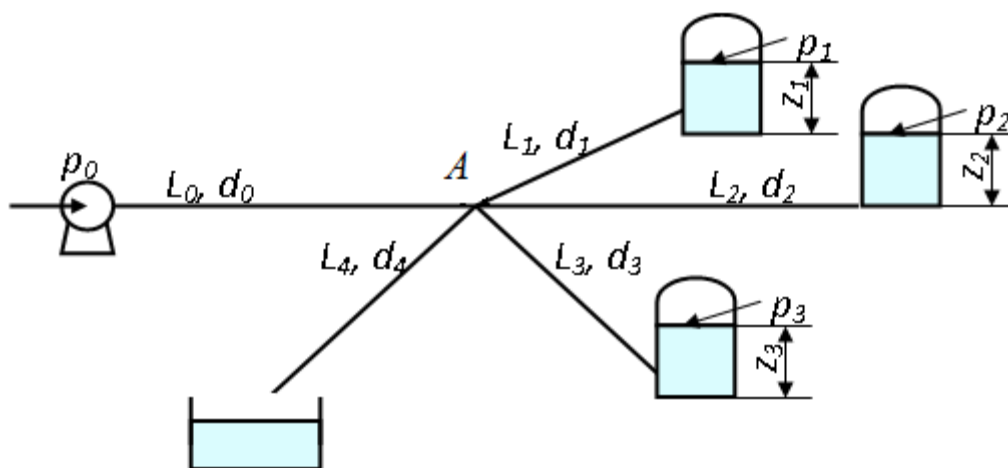
Теоретические основы гидравлического расчета сложных трубопроводов.

#### 2. Расчетная часть.

Рассчитать промышленную систему, указанную на схеме, состоящую из трех разводящих линий  $L_1, d_1, L_2, d_2, L_3, d_3$ , нагнетательной линии насоса  $L_0, d_0$ . В конечных пунктах заданы давления  $p_1, p_2, p_3$  и уровни жидкости в резервуарах  $z_1, z_2, z_3$ . Даны физические свойства жидкости  $\nu, \rho$ . Дано давление на выходе из насоса  $p_0$ . Все трубы стальные бесшовные новые, расположены в одной горизонтальной плоскости.

- 1) Применяя графоаналитический метод, определить расходы в ветвях и расход в нагнетательной линии насоса при перекрытой 4-й линии
- 2) Определить давление в узловой точке.
- 3) Определить расход в сборной трубе 4, если отключен насос.
- 4) Как изменятся полученные в пункте 1 параметры, если вязкость жидкости возрастет на 25%?

### *Схема гидравлической системы*



**Исходные данные**

| Варианты          | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Данные            |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| $p_0$ , МПа       | 0,35 | 0,46 | 0,27 | 0,38 | 0,47 | 0,38 | 0,27 | 0,25 | 0,34 | 0,35 |
| $p_1$ , кПа       | 25   | 15   | 15   | 10   | 20   | 10   | 10   | 20   | 25   | 20   |
| $p_2$ , кПа       | 20   | 10   | 20   | 15   | 15   | 25   | 40   | 25   | 30   | 40   |
| $p_3$ , кПа       | 20   | 30   | 25   | 15   | 20   | 20   | 30   | 30   | 20   | 40   |
| Длины участков, м |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| $L_0$             | 100  | 120  | 130  | 100  | 110  | 90   | 100  | 110  | 80   | 120  |
| $L_1$             | 150  | 140  | 150  | 120  | 130  | 120  | 150  | 160  | 130  | 100  |
| $L_2$             | 200  | 210  | 190  | 200  | 220  | 200  | 210  | 190  | 220  | 150  |
| $L_3$             | 150  | 160  | 170  | 150  | 140  | 150  | 130  | 160  | 150  | 180  |
| $L_4$             | 400  | 350  | 380  | 370  | 400  | 410  | 390  | 410  | 400  | 390  |
| Диаметры линий, м |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| $d_0$             | 0,2  | 0,2  | 0,2  | 0,3  | 0,2  | 0,35 | 0,2  | 0,3  | 0,2  | 0,3  |
| $d_1$             | 0,25 | 0,2  | 0,2  | 0,3  | 0,2  | 0,35 | 0,2  | 0,3  | 0,2  | 0,3  |
| $d_2$             | 0,3  | 0,2  | 0,25 | 0,3  | 0,2  | 0,3  | 0,2  | 0,3  | 0,2  | 0,2  |

Гидравлический расчет сложных трубопроводов

|                                      |      |      |      |      |      |      |     |     |      |     |
|--------------------------------------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|-----|
| $d_3$                                | 0,25 | 0,25 | 0,2  | 0,25 | 0,15 | 0,3  | 0,2 | 0,3 | 0,2  | 0,2 |
| $d_4$                                | 0,3  | 0,2  | 0,25 | 0,35 | 0,25 | 0,35 | 0,2 | 0,3 | 0,3  | 0,3 |
| Геометрические высоты, м             |      |      |      |      |      |      |     |     |      |     |
| $z_1$                                | 2,0  | 2,0  | 2,5  | 3,0  | 3,5  | 3,0  | 2,5 | 2,0 | 1,5  | 3,0 |
| $z_2$                                | 3,0  | 1,5  | 2,5  | 2,5  | 2,5  | 2,0  | 1,5 | 2,5 | 3,0  | 2,5 |
| $z_3$                                | 4,0  | 1,5  | 2,5  | 2,5  | 2,5  | 2,0  | 1,5 | 2,5 | 3,0  | 2,5 |
| $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>           | 810  | 900  | 850  | 810  | 950  | 800  | 800 | 900 | 820  | 850 |
| $\nu \cdot 10^4$ , м <sup>2</sup> /с | 0,1  | 0,2  | 0,15 | 0,2  | 0,4  | 0,25 | 0,2 | 0,1 | 0,05 | 0,1 |

## 17. Гидравлический расчет сифонного трубопровода.

### Содержание работы

#### 1. Теоретическая часть.

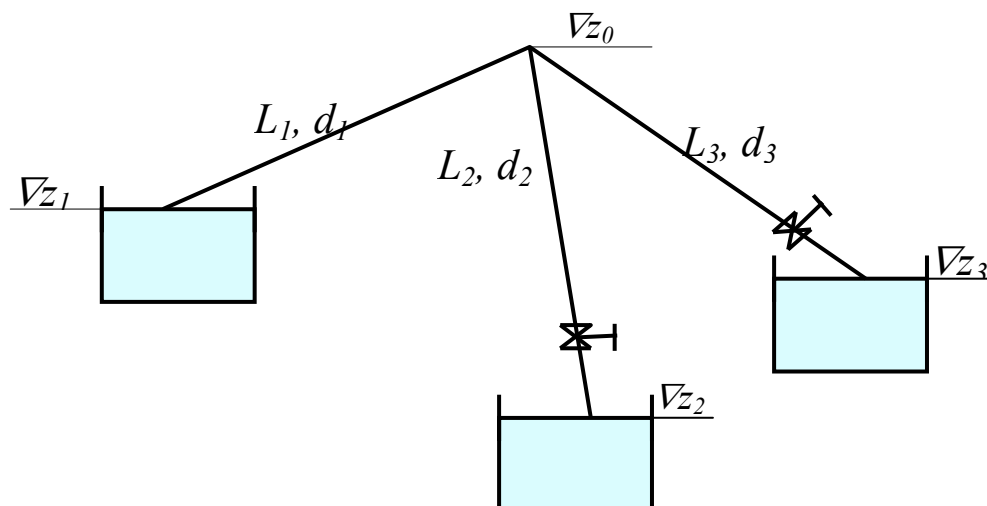
Теоретические основы гидравлического расчета сложных трубопроводов и трубопроводов, работающих под вакуумом.

#### 2. Расчетная часть.

Сифонный трубопровод составлен из трех труб с заданными характеристиками  $L_i, d_i, \Delta_i$  ( $i = 1,2,3$ ) и суммарными коэффициентами местных сопротивлений на  $i$ -том участке  $\zeta_i$ ; плотность  $\rho$ , вязкость керосина  $\nu$ . Давление насыщенного пара при данной температуре  $p_{н.н.} = 60$  кПа.

- 1) Определить расходы  $Q_1, Q_2, Q_3$ , используя графоаналитический метод.
- 2) Показать влияние на расходы увеличения температуры.
- 3) При какой температуре возможен максимальный расход?
- 4) Определить напор  $H = z_1 - z_2$  необходимый для того, чтобы обеспечить расход  $Q_2 = 5$  л/с при закрытой задвижке на третьей трубе.

### Схема гидравлической системы



**Исходные данные**

| Варианты<br>Данные                           | 1   | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7   | 8   | 9    | 10  |
|--|-----|------|------|------|------|------|-----|-----|------|-----|
| Длины участков, м                            |     |      |      |      |      |      |     |     |      |     |
| $L_1$  | 5   | 4    | 3,5  | 3,0  | 3,5  | 4,0  | 3,5 | 3,0 | 2,5  | 2,0 |
| $L_2$  | 12  | 3,5  | 2,0  | 3,0  | 2,5  | 3,0  | 4,0 | 4,0 | 1,5  | 2,0 |
| $L_3$  | 10  | 3    | 2,5  | 2,5  | 3,0  | 4,0  | 5,0 | 3,0 | 2,0  | 2,5 |
| Диаметры линий, мм                           |     |      |      |      |      |      |     |     |      |     |
| $d_1$  | 80  | 0,2  | 0,2  | 0,3  | 0,2  | 0,35 | 0,2 | 0,3 | 0,2  | 0,3 |
| $d_2$  | 70  | 0,2  | 0,25 | 0,3  | 0,2  | 0,3  | 0,2 | 0,3 | 0,2  | 0,2 |
| $d_3$  | 50  | 0,25 | 0,2  | 0,25 | 0,15 | 0,3  | 0,2 | 0,3 | 0,2  | 0,2 |
| Суммарные коэффициенты местных сопротивлений |     |      |      |      |      |      |     |     |      |     |
| $\zeta_1$                                    | 2   | 0,2  | 0,2  | 0,3  | 0,2  | 0,35 | 0,2 | 0,3 | 0,2  | 0,3 |
| $\zeta_2$                                    | 0,5 | 0,2  | 0,25 | 0,3  | 0,2  | 0,3  | 0,2 | 0,3 | 0,2  | 0,2 |
| $\zeta_3$                                    | 3   | 0,25 | 0,2  | 0,25 | 0,15 | 0,3  | 0,2 | 0,3 | 0,2  | 0,2 |
| Эквивалентная шероховатость, мм              |     |      |      |      |      |      |     |     |      |     |
| $\Delta_1$                                   | 0,2 | 0,2  | 0,2  | 0,1  | 0,2  | 0,35 | 0,2 | 0,1 | 0,2  | 0,3 |
| $\Delta_2$                                   | 0,3 | 0,2  | 0,25 | 0,3  | 0,2  | 0,3  | 0,2 | 0,3 | 0,1  | 0,2 |
| $\Delta_3$                                   | 0,1 | 0,25 | 0,2  | 0,25 | 0,15 | 0,3  | 0,2 | 0,1 | 0,2  | 0,1 |
| Геометрические высоты, м                     |     |      |      |      |      |      |     |     |      |     |
| $z_0$  | 7   | 6    | 5    | 7    | 5    | 4    | 6   | 5   | 6    | 8   |
| $z_1$  | 4   | 3    | 2    | 3    | 2    | 1    | 2   | 3   | 1    | 3   |
| $z_2$  | 0   | 0    | -1   | 1    | 0    | -1   | 0   | -1  | 0    | 0   |
| $z_3$  | 2   | 2    | 1    | 2    | 3    | 3    | 4   | 1   | 2    | 4   |
| $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>                   | 810 | 900  | 850  | 810  | 950  | 800  | 800 | 900 | 820  | 850 |
| $\nu \cdot 10^5$ , м <sup>2</sup> /с         | 0,3 | 0,2  | 0,15 | 0,2  | 0,4  | 0,25 | 0,2 | 0,3 | 0,05 | 0,3 |



***Методические указания***

Для ответа на второй вопрос воспользоваться графиком зависимости кинематического коэффициента вязкости нефтепродуктов от температуры.

## 18. Гидравлический расчет системы сбора нефти.

### Содержание работы

#### 1. Теоретическая часть.

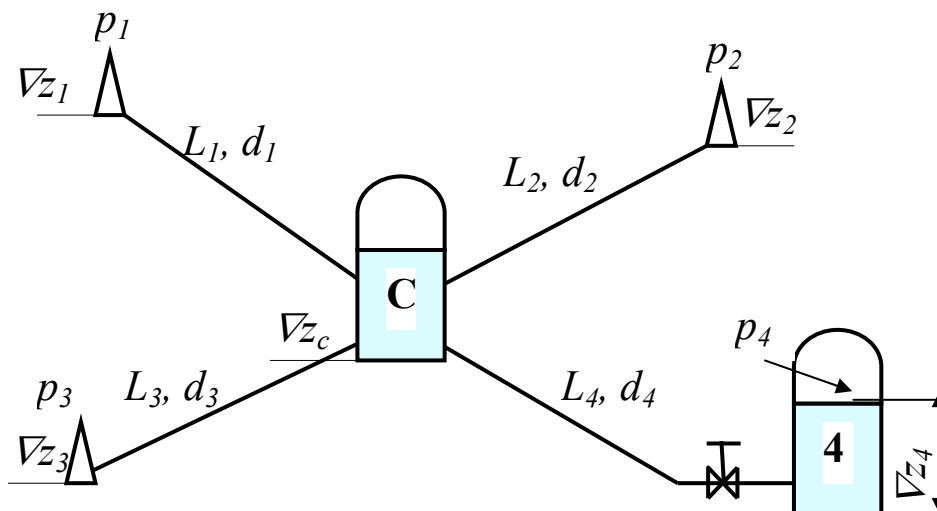
Теоретические основы гидравлического расчета сложных трубопроводов.

#### 2. Расчетная часть.

Из трех фонтанирующих скважин нефть течет в сборную емкость С, откуда собирается в атмосферную емкость 4, имеющую высоту наполнения  $\nabla z_4$ . Трубы стальные сварные новые. Отметки указаны  $\nabla z_i$ . На трубе 4 имеется задвижка.

- 1) Найти расходы в ветвях, давление в точке С.
- 2) Принято решение увеличить добычу в скважине 2, не меняя  $p_2$ . Какие меры вы примете? Выполните расчеты, показывающие, насколько возрастает добыча из этой скважины.
- 3) После нескольких лет эксплуатации трубы получили большие отложения. Как изменится при этом добыча по пункту 1?

### Схема установки



**Исходные данные**

| <b>Варианты</b><br><b>Данные</b>             | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>8</b> | <b>9</b> | <b>10</b> |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| Длины участков, м                            |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
| $L_1$  | 600      | 600      | 700      | 800      | 300      | 400      | 200      | 600      | 400      | 600       |
| $L_2$  | 700      | 700      | 400      | 500      | 800      | 200      | 500      | 600      | 400      | 700       |
| $L_3$  | 800      | 600      | 600      | 500      | 700      | 500      | 600      | 400      | 800      | 300       |
| $L_4$  | 300      | 300      | 400      | 500      | 300      | 600      | 200      | 600      | 400      | 300       |
| Диаметры участков, м                         |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
| $d_1$  | 0,3      | 0,20     | 0,25     | 0,25     | 0,30     | 0,25     | 0,3      | 0,25     | 0,20     | 0,35      |
| $d_2$  | 0,35     | 0,15     | 0,30     | 0,25     | 0,25     | 0,25     | 0,20     | 0,35     | 0,25     | 0,25      |
| $d_3$  | 0,2      | 0,20     | 0,15     | 0,20     | 0,20     | 0,35     | 0,15     | 0,20     | 0,31     | 0,20      |
| $d_4$  | 0,25     | 0,35     | 0,25     | 0,40     | 0,45     | 0,30     | 0,40     | 0,35     | 0,35     | 0,40      |
| $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>                   | 830      | 900      | 850      | 800      | 950      | 800      | 800      | 900      | 800      | 850       |
| $\nu$ , м <sup>2</sup> /с · 10 <sup>-4</sup> | 0,12     | 0,5      | 0,5      | 0,3      | 0,2      | 0,2      | 0,15     | 0,3      | 0,3      | 0,2       |
| Давление на скважинах, Па, 10 <sup>5</sup>   |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
| $p_1$  | 10       | 11       | 9        | 12       | 11       | 10       | 12       | 9        | 11       | 13        |
| $p_2$  | 11       | 10       | 10       | 12       | 9        | 13       | 10       | 11       | 10       | 11        |
| $p_3$  | 9        | 10       | 11       | 10       | 12       | 9        | 11       | 10       | 9        | 9         |
| $p_4$  | 1        | 2        | 1        | 3        | 2        | 1        | 3        | 2        | 1        | 2         |
| Геометрические отметки скважин, м            |          |          |          |          |          |          |          |          |          |           |
| $\nabla z_1$                                 | 15       | 12       | 10       | 14       | 16       | 18       | 18       | 15       | 12       | 17        |
| $\nabla z_2$                                 | 17       | 18       | 15       | 12       | 15       | 12       | 15       | 13       | 16       | 15        |
| $\nabla z_3$                                 | 11       | 10       | 11       | 18       | 12       | 13       | 10       | 16       | 10       | 12        |
| $\nabla z_4$                                 | 7        | 6        | 8        | 5        | 7        | 6        | 8        | 6        | 7        | 5         |
| Уровень<br>сборной<br>емкости, $\nabla z_c$  | 10       | 11       | 9        | 8        | 10       | 7        | 8        | 9        | 10       | 11        |

## 19. Гидравлический расчет системы промышленного сбора нефти.

Содержание работы:

### 1. Теоретическая часть.

Теоретические основы гидравлического расчета сложных трубопроводов.

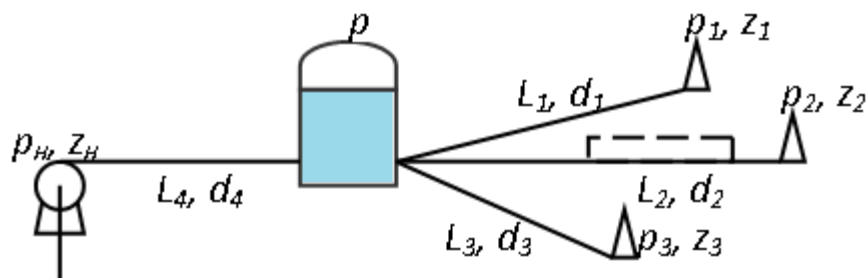
### 2. Расчетная часть.

Гидравлический расчет системы промышленного сбора нефти, работающей стационарно.

Рассчитать давление в сборнике и расходы в трубах  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$ .

Определить, как изменятся расходы  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$ , если к трубе 2 присоединить лупинг длиной  $L_l = 3$  км и диаметром  $d_l = d_2$ , при тех же заданных давлениях.

*Схема промышленного сбора нефти*



Давление на входе в насос атмосферное  $p_n = 0$ , геометрическая отметка насоса  $z_n = 0$ .

Определить мощность насоса.

Трубы стальные, сварные, новые.

### *Исходные данные*

| Варианты<br>Данные                         | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   |
|--|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Длины участков, км                         |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| $L_1$                                      | 5    | 6    | 7    | 8    | 3    | 4    | 2    | 6    | 4    | 6    |
| $L_2$                                      | 6    | 7    | 4    | 5    | 8    | 2    | 5    | 6    | 4    | 7    |
| $L_3$                                      | 6    | 6    | 6    | 5    | 7    | 5    | 6    | 4    | 8    | 3    |
| $L_4$                                      | 4    | 3    | 4    | 5    | 3    | 6    | 2    | 6    | 4    | 3    |
| Диаметры участков, м                       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| $d_1$                                      | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,25 | 0,20 | 0,20 | 0,20 | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| $d_2$                                      | 0,20 | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,15 | 0,25 | 0,20 | 0,15 | 0,25 | 0,25 |
| $d_3$                                      | 0,25 | 0,20 | 0,15 | 0,20 | 0,20 | 0,25 | 0,15 | 0,20 | 0,15 | 0,20 |
| $d_4$                                      | 0,40 | 0,45 | 0,40 | 0,50 | 0,45 | 0,40 | 0,40 | 0,35 | 0,45 | 0,40 |
| $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>                 | 840  | 900  | 850  | 800  | 950  | 800  | 800  | 900  | 800  | 850  |
| $\nu$ , м <sup>2</sup> /с·10 <sup>-4</sup> | 0,3  | 0,5  | 0,5  | 0,3  | 0,2  | 0,2  | 0,15 | 0,3  | 0,3  | 0,2  |
| Давление на скважинах, МПа,                |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| $p_1$                                      | 0,5  | 4,0  | 3,0  | 4,0  | 3,5  | 2,5  | 2,0  | 2,8  | 2,2  | 2,0  |
| $p_2$                                      | 0,4  | 4,0  | 3,0  | 4,0  | 3,5  | 2,5  | 2,0  | 2,8  | 2,2  | 2,0  |
| $p_3$                                      | 0,3  | 4,0  | 3,0  | 4,0  | 3,5  | 2,5  | 2,0  | 2,8  | 2,2  | 2,0  |
| Геометрические отметки скважин, м          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
| $z_1$                                      | 15   | 12   | 10   | 12   | 15   | 12   | 18   | 15   | 12   | 10   |
| $z_2$                                      | 15   | 12   | 10   | 12   | 15   | 12   | 18   | 15   | 12   | 10   |
| $z_3$                                      | 15   | 12   | 10   | 12   | 15   | 12   | 18   | 15   | 12   | 10   |

## 20. Гидравлический расчет резервуара с коммуникациями.

### *Содержание работы*

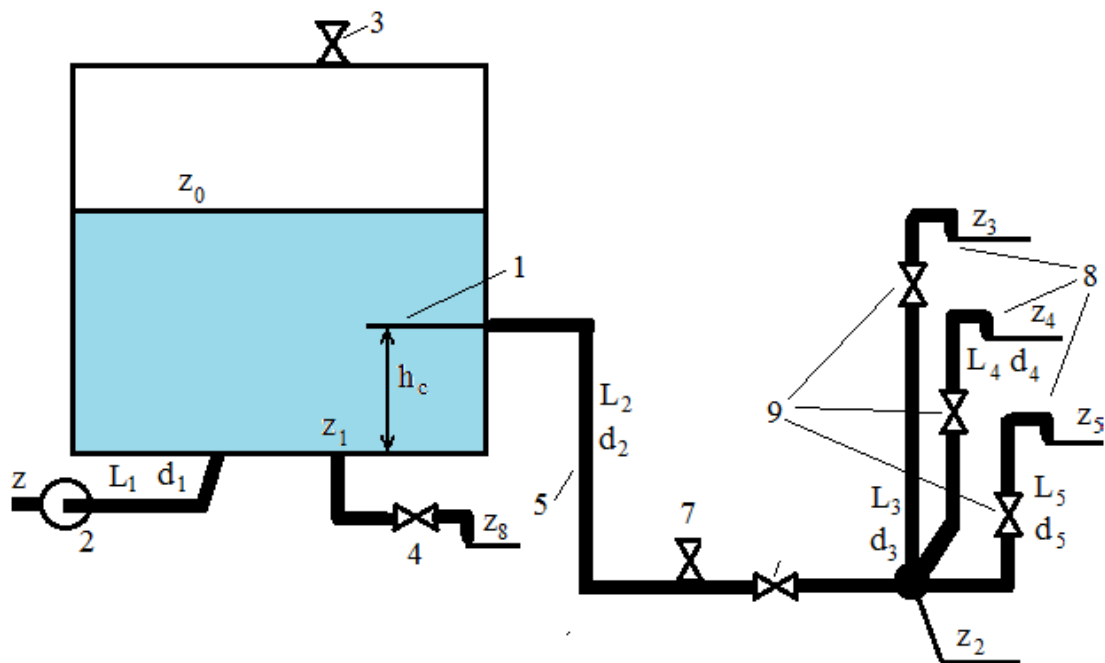
#### 1. Теоретическая часть

Основные принципы гидравлического расчета простых и сложных трубопроводов.

#### 2. Расчетная часть

- a) Определение полезной мощности насоса в период максимальной нагрузки. Давление на входе в насос атмосферное.
- b) Определение расхода жидкости в каждом из стояков раздаточных пунктов при максимальном уровне жидкости в резервуаре.
- c) Вычисление требуемых дополнительных коэффициентов местных сопротивлений, создаваемых задвижками на стояках, при которых в них расходы будут одинаковыми и равными минимальному при свободном истечении.
- d) Определение расходов жидкости в стояках (при открытых задвижках) в случае присоединения с основной магистралью лупинга.
- e) Нахождение расчетного диаметра вставки в магистраль, при котором суммарный расход через стояки возрастает в « $n$ » раз.
- f) Определение максимально-возможного ударного повышения давления при закрытии запирающего устройства в конце магистрали, и соответствующего ему времени перекрытия потока этим устройством.
- g) Вычисление толщины стенок магистрали, при которой она способна выдержать гидравлический удар без разрушения.
- h) Определение времени слива отстойной воды у дна.

### *Схема установки*



### Описание системы

Система состоит из резервуара 1, в котором «дыхательный» клапан 3 поддерживает заданное избыточное давление, центробежного насоса 2, подающего в резервуар жидкость, сливного магистрального трубопровода 5, в конце которого находится запирающее устройство 6 и предохранительный клапан 7. От магистрали отходят линии к стоякам 8 (тех же диаметров), снабженные задвижками 9. От дна резервуара начинается сливная линия 4 длиной  $L_c$  и диаметром  $d_c$ , предназначенные для периодического слива слоя отстойной воды высотой от дна  $h_c$ . Трубы этой линии сварные умеренно заржавленные, местные сопротивления на ней показаны на схеме.

Свойства жидкостей:

|  | Плотность, кг/м <sup>3</sup> |       |       | Динамическая вязкость, мПа·с |       |       |
|--|------------------------------|-------|-------|------------------------------|-------|-------|
|  | 10 °С                        | 20 °С | 30 °С | 10 °С                        | 20 °С | 30 °С |
|  |                              |       |       |                              |       |       |

|             |      |     |     |       |       |      |
|-------------|------|-----|-----|-------|-------|------|
| Вода        | 1000 | 998 | 996 | 1.31  | 1.00  | 0.80 |
| Масло МС-20 | 898  | 892 | 886 | 248.0 | 102.0 | 47.5 |
| Керосин Т-1 | -    | 819 | 814 | -     | 1.49  | 1.33 |

| Величины  | Варианты |       |       |       |       |
|---|----------|-------|-------|-------|-------|
|   | 1        | 2     | 3     | 4     | 5     |
| Вместимость резервуара, м <sup>3</sup>  | 300      | 1000  | 2000  | 5000  | 20000 |
| Диаметр резервуара, м   | 7,85     | 12,33 | 15,88 | 22,79 | 45,50 |
| Требуемое время наполнения резервуара, час  | 1,5      | 2,0   | 4,0   | 6,5   | 20,0  |
| Длина нагнетательной линии насоса $L_1$ , м   | 100      | 150   | 200   | 250   | 300   |
| Суммарная эквивалентная длина ее местных сопротивлений, м                               | 10       | 12    | 15    | 18    | 25    |
| Диаметр нагнетательной линии $d$ , мм   | 250      | 300   | 300   | 350   | 350   |
| Состояние труб  | СУ       | БЭ    | СН    | С     | БЭ    |
| Высота нагнетания $(z_1-z)$ , м   | 27       | 22    | 47    | 10    | 54    |
| Вид жидкости  | Вода     | МС-20 | Т-1   | Т-1   | Т-1   |
| Температура жидкости, С   | 10       | 30    | 20    | 30    | 30    |
| Избыточное давление в резервуара, кПа   | 0        | 1,0   | 1,5   | 1,0   | 1,5   |
| Длина магистральной линии $L_2$ , м   | 600      | 320   | 850   | 980   | 1000  |
| Эквивалентная длина местных сопротивлений для каждой из линий раздачи, в долях от $L$ . | 0,10     | 0,15  | 0,12  | 0,10  | 0,15  |



|   |     |     |     |     |     |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| Состояние труб всех линий раздачи   | С   | СН  | СУ  | БЭ  | С   |
| Диаметр магистральной линии $d_2$ , мм  | 200 | 225 | 250 | 300 | 350 |
| Количество отводных линий к стоякам   | 2   | 3   | 4   | 4   | 5   |
| Длины отводных линий, включая стояки, м   |     |     |     |     |     |
| $L_3$   | 30  | 40  | 40  | 50  | 60  |
| $L_4$   | 50  | 50  | 50  | 60  | 80  |
| $L_5$   | -   | 60  | 70  | 70  | 50  |
| $L_6$   | -   | -   | 70  | 60  | 50  |
| $L_7$   | -   | -   | -   | -   | 80  |
| Диаметры отводных линий, мм   |     |     |     |     |     |
| $d_3$   | 125 | 125 | 100 | 150 | 150 |
| $d_4$   | 150 | 150 | 125 | 125 | 150 |
| $d_5$   | -   | 150 | 125 | 150 | 200 |
| $d_6$   | -   | -   | 150 | 150 | 200 |
| $d_7$   | -   | -   | -   | -   | 225 |
| Разность высот (м) между максимальным уровнем в резервуаре и конечной точкой магистрали ( $z_0 - z_2$ ) | 15  | 12  | 10  | 15  | 13  |
| Разность высот (м) между максимальным уровнем в резервуаре и выходными сечениями стояков                |     |     |     |     |     |
| $(z_0 - z_3)$   | 8   | 9   | 8   | 8   | 10  |
| $(z_0 - z_4)$   | 9   | 10  | 9   | 7   | 11  |
| $(z_0 - z_5)$   | -   | 11  | 10  | 10  | 12  |
| $(z_0 - z_6)$   | -   | -   | 12  | 9   | 13  |

| $(z_0 - z_7)$   | -   | -   | -   | -   | 12  |
|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| Разность высот между максимальным уровнем в резервуаре и выходным сечением слива ( $z_0 - z_8$ ), м | 11  | 15  | 13  | 16  | 15  |
| Длина лупинга, м  | 150 | 180 | 300 | 350 | 450 |
| Диаметр лупинга, мм   | 150 | 200 | 150 | 200 | 250 |
| Требуемая степень увеличения расхода при вставке  | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,2 |
| Длина вставки, м  | 300 | 150 | 450 | 470 | 600 |
| Диаметр отверстия седла предохранительного клапана, мм  | 15  | 18  | 20  | 18  | 20  |
| Длина сливной линии $L_c$ , м   | 10  | 15  | 17  | 19  | 21  |
| Диаметр сливной линии $d_c$ , мм  | 125 | 150 | 200 | 225 | 250 |
| Высота отстойного слоя воды $h_c$ , м   | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 1,0 |
| Разность высот между максимальным уровнем в резервуаре и выходным сечением слива ( $z_0 - z_8$ ), м | 11  | 15  | 13  | 16  | 15  |
| Длина лупинга, м  | 150 | 180 | 300 | 350 | 450 |
| Диаметр лупинга, мм   | 150 | 200 | 150 | 200 | 250 |
| Требуемая степень увеличения расхода при вставке  | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 1,1 | 1,2 |
| Длина вставки, м  | 300 | 150 | 450 | 470 | 600 |
| Диаметр отверстия седла предохранительного клапана, мм  | 15  | 18  | 20  | 18  | 20  |
| Длина сливной линии $L_c$ , м   | 10  | 15  | 17  | 19  | 21  |
| Диаметр сливной линии $d_c$ , мм  | 125 | 150 | 200 | 225 | 250 |
| Высота отстойного слоя воды $h_c$ , м   | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 1,0 |

Обозначение: С - сварные с незначительной коррозией, СН - сварные новые, БЭ - бесшовные эксплуатировавшиеся, СУ - сварные умеренные

### *Методические указания*

При расчете линейной части трубопровода рекомендуется использовать графоаналитический метод расчета.

При определении скорости ударной волны толщина стенки подбирается по нормативным документам, а затем уточняется с учетом максимального допустимого напряжения материала стенок магистрали.

Определение времени слива отстойной воды проводится при условии постоянного полного заполнения резервуара жидкостью.

## 21. Расчет мазутопровода при движении вязкопластичной жидкости.

### *Содержание работы:*

#### 1. Теоретическая часть.

Классификация неньютоновских жидкостей. Зависимость между расходом и перепадом давления при ламинарном течении вязкопластичной жидкости в трубе.

#### 2. Расчетная часть.

Пользуясь  $\pi$  – теоремой, получить безразмерные параметры, характеризующие движение вязкопластичной жидкости в трубе.

Получить формулу для определения коэффициента гидравлического сопротивления при ламинарном течении вязкопластичной жидкости в трубе.

Построить графики зависимости гидравлического сопротивления  $\lambda$  от параметра Рейнольдса  $Re$  и параметра Ильюшина

$$И = \frac{\tau_0 d}{\mu v}, \quad \text{т.е. } \lambda = \lambda(Re, И).$$

Рассчитать потери движения при транспорте мазута по горизонтальному трубопроводу к печам технологических установок нефтезавода, считая, что мазут описывается моделью вязкопластичной жидкости (реологические параметры жидкости определяются при средней температуре).

### *Исходные данные*

| Данные \ Варианты  | Варианты |        |        |        |
|--|----------|--------|--------|--------|
|  | 1        | 2      | 3      | 4      |
| Предельное динамическое напряжение $\tau_0$ , Н/м <sup>2</sup> | 10       | 10     | 12     | 11     |
| Диаметр трубопровода $d$ , м                                   | 0,207    |        |        |        |
| Длина трубопровода $L$ , м                                     | 1000     | 950    | 1050   | 1100   |
| Плотность мазута $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>                    | 950      | 940    | 990    | 920    |
| Расход $Q$ , м <sup>3</sup> /с                                 | 0,0972   | 0,0972 | 0,0972 | 0,0972 |

**Методические указания.**

Для определения коэффициента гидравлического сопротивления воспользоваться формулой Дарси-Вейсбаха:

$$h = \frac{\Delta p}{\rho g} = \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g}.$$

Выразить  $\Delta p$  из формулы и подставить в формулу Букингама, определяющую расход  $Q$  при течении вязкопластичной жидкости в трубе.

Получить формулу для  $\lambda$  в виде  $\lambda = \lambda(\text{Re}, I)$ , где

$$I = \frac{\tau_0 d}{\mu v}, \quad \text{Re} = \frac{\rho v d}{\mu}.$$

Задаваясь различными значениями  $I$  ( $0 \leq I \leq 10^2$ ), построить зависимость  $\lambda$  от  $\text{Re}$  ( $10^2 \leq \text{Re} \leq 2320$ ).

## 22. Расчет мазутопровода при движении псевдопластичной жидкости.

### *Содержание работы*

#### 1. Теоретическая часть.

Классификация неньютоновских жидкостей. Ламинарное стационарное течение псевдопластичной жидкости в трубе. Профиль скорости. Зависимость между расходом и перепадом давления.

#### 2. Расчетная часть.

Построить профиль скорости неньютоновской жидкости, подчиняющейся степенному реологическому закону

$$\tau = k \left( \dot{\gamma} \right)^n$$

при течении в круглой трубе.

Принять  $n = 3, 2, 1, 0,7, 0,33$ .

Пользуясь  $\pi$  – теоремой, получить безразмерные параметры, характеризующие движение псевдопластичной жидкости в трубе.

Получить формулу для определения коэффициента гидравлического сопротивления при ламинарном течении псевдопластичной жидкости в трубе.

Рассчитать потери движения при транспорте мазута по горизонтальному трубопроводу к печам технологических установок нефтезавода, считая, что мазут описывается моделью псевдопластичной жидкости и движение изотермическое.

### *Исходные данные*

Реологические параметры жидкости:

$$n = 1/1,398; \quad k = 0,304 \text{ н.с.}^{0.716} \text{ М}^{-2}.$$

| Варианты                                    | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     |
|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| <b>Данные</b>                               |                       |                       |                       |                       |
| Длина трубопровода $L$ , м                  | 100                   | 80                    | 150                   | 120                   |
| Диаметр трубопровода $d$ , мм               | 0,207                 | 0,207                 | 0,207                 | 0,207                 |
| Плотность мазута $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | 950                   | 950                   | 950                   | 950                   |
| Расход мазута $Q$ , м <sup>3</sup> /с       | $0,277 \cdot 10^{-3}$ | $0,250 \cdot 10^{-3}$ | $0,425 \cdot 10^{-3}$ | $0,319 \cdot 10^{-3}$ |

**Методические указания**

Для определения коэффициента гидравлического сопротивления воспользоваться формулой Дарси-Вейсбаха:

$$h = \frac{\Delta p}{\rho g} = \lambda \frac{L}{d} \frac{v^2}{2g}$$

Выразить  $\Delta p$  из формулы и подставить в уравнение, определяющее зависимость между расходом  $Q$  и  $\Delta p$  перепадом давления при ламинарном течении псевдопластичной жидкости в трубе. Получить формулу для  $\lambda$  в виде:

$$\lambda = \frac{const}{Re'}$$

где  $Re' = \frac{\rho v^{2-n} d^n}{k}$  — обобщенное число Рейнольдса.

## 23. Исследование пульсаций давления на расход при ламинарном движении неньютоновских жидкостей в трубах

### Содержание работы

1. Теоретическая часть.

Классификация неньютоновских жидкостей.

2. Расчетная часть.

Рассматривается ламинарное неустановившееся течение неньютоновской жидкости, подчиняющейся степенному реологическому закону

$$\tau = k \left( \dot{\gamma} \right)^n$$

в круглой трубе.

Градиент давления меняется по закону

$$-\frac{\partial p}{\partial z} = \left( \frac{\partial p}{\partial z} \right)_0 + \left( \frac{\partial p}{\partial z} \right)_1 \cos \omega t, \quad (1)$$

где  $\left( \frac{\partial p}{\partial z} \right)_0 = const$ ,  $\left( \frac{\partial p}{\partial z} \right)_1 = const$ .

Исследовать влияние пульсаций давления на расход жидкости.

Рассмотреть случай, когда инерционными членами в уравнении движения можно пренебречь по сравнению с вязкими (квазистационарного движение).

а) Найти скорость  $u = u(r, t)$ .

б) Определить средний за период колебания расход.

Исследовать влияние пульсаций давления на средний за период колебания расход в случае  $n < 1$  и  $n > 1$  ( $0,2 \leq n \leq 2$ ).

### Методические указания



Уравнение неустановившегося ламинарного движения жидкости в трубе имеет вид:

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} = -\frac{\partial p}{\partial z} - \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial z} (r, \tau_{rz}).$$

При пульсирующем движении градиент давления представляют в виде суммы постоянной компоненты  $\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_0$  и пульсационной компоненты с амплитудой  $\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_1$  и частотой  $\omega$ :

$$-\frac{\partial p}{\partial z} = \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_0 + \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_1 \cos \omega t.$$

Для неньютоновской жидкости, подчиняющейся степенному реологическому закону

$$\tau_{rz} = -k \frac{\partial u}{\partial r} \left| \frac{\partial u}{\partial r} \right|^{n-1},$$

расход жидкости определяется по формуле

$$q(t) = 2\pi \int_0^a u r dr,$$

где  $a$  – радиус трубы.

Средний расход жидкости за период колебания  $T = \frac{2\pi}{\omega}$  находится из соотношения

$$\bar{q} = 2\pi \int_0^{2\pi/\omega} \int_0^a u r dr dt.$$

При стационарном ламинарном движении с постоянным градиентом давления  $\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_0$  расход жидкости  $q_0$  выражается через среднюю скорость  $v$  по формуле

$$q_0 = \pi a^2 v.$$

Отношение расхода жидкости  $\bar{q}$  при пульсирующем течении к расходу  $q_0$  при стационарном течении обозначим через  $Q$

$$Q = \bar{q} / q_0. \quad (2)$$

В работе надо исследовать зависимость  $Q$  от  $n$ , т.е. определить влияние пульсаций давления на расход при различных  $n$  в случае квазистационарного движения, когда вязкие силы значительно больше чем силы инерции. В этом случае уравнение (1) примет вид

$$\left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_0 + \left(\frac{\partial p}{\partial z}\right)_1 \cos \omega t + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[ rk \frac{\partial u}{\partial r} \left| \frac{\partial u}{\partial r} \right|^{n-1} \right] = 0. \quad (3)$$

Уравнение (3) надо проинтегрировать, т.е. найти  $u(r, t)$  и по формуле (2) определить  $Q$ .

Удобно в уравнении (3) перейти к безразмерным переменным:

$$w = \frac{u}{v}, \quad \tau = \frac{ut}{2\pi}, \quad \xi = \frac{r}{a}.$$

Тогда

$$Q = \bar{q} / q_0 = 2 \int_0^1 \int_0^1 w \xi d\xi d\tau.$$

**Зависимость  $Q$  от  $n$  представить на графике при  $0,2 \leq n \leq 2$ .**

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Пример титульного листа курсовой работы.

|   |                 |                   |
|---|-----------------|-------------------|
| <p><i>Министерство образования и науки Российской Федерации</i><br/><i>Российский государственный университет нефти и газа</i><br/><i>(национальный исследовательский университет)</i><br/>имени И.М. Губкина</p> |                 |                   |
| <p><b>ФАКУЛЬТЕТ РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ</b></p>   |                 |                   |
| <p><b>КАФЕДРА НЕФТЕГАЗОВОЙ И ПОДЗЕМНОЙ ГИДРОМЕХАНИКИ</b></p>  |                 |                   |
| <p>Курсовая работа<br/>по курсу «Гидравлика и нефтегазовая гидромеханика»</p>   |                 |                   |
| <p>«ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ НАГНЕТАТЕЛЬНОЙ ЛИНИИ НАСОСА»<br/>Вариант № 1.</p>   |                 |                   |
| К защите:   |                 |                   |
| научный руководитель,   |                 |                   |
| доц.  | (подпись, дата) | И.И.Иванов        |
| студент группы  | (подпись, дата) | <b>П.П.Петров</b> |
| Защита:   |                 |                   |
| Председатель комиссии,  |                 |                   |
| доц.  | (подпись, дата) | С.С.Сидоров       |
| Член комиссии,  |                 |                   |
| доц.  | (подпись)       | К.К.Кузнецов      |
| Оценка  |                 |                   |
| <p>Москва, 2016</p>   |                 |                   |

## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

## Единицы измерения

| Величина                   |                                    | СИ   | СГС   | Соотношения  |
|----------------------------|------------------------------------|--|---|--|
| Длина                      | length                             | м  | см  | $1 \text{ м} = 10^2 \text{ см}$                                    |
| Масса                      | mass                               | кг   | г   | $1 \text{ кг} = 10^3 \text{ г}$                                    |
| Время                      | time                               | с  | с   |  |
| Сила                       | force                              | Н (кг·м/с)                                   | Дин (г·см/с)                                  | $1 \text{ Н} =$<br>$= 10^5 \text{ дин} =$<br>$= 0,102 \text{ кгс}$ |
| Плотность                  | density                            | кг/м <sup>3</sup>                            | г/см <sup>3</sup>                             | $1 \text{ кг/м}^3 =$<br>$= 10^{-3} \text{ г/см}^3$                 |
| Работа и энергия           | energy                             | Дж (н·с)                                     | эрг (дин·см)                                  | $1 \text{ Дж} =$<br>$= 10^7 \text{ эрг}$                           |
| Мощность                   | power                              | Вт (Дж/с)                                    | эрг/с   | $1 \text{ Вт} =$<br>$= 10^7 \text{ эрг/с}$                         |
| Давление                   | pressure                           | Па (н/м <sup>2</sup> )                       | дин/см <sup>2</sup>                           | $1 \text{ Па} =$<br>$= 10^9 \text{ дин/см}^2$                      |
| Вязкость:                  |                                    |  |   |  |
| Динамический коэффициент   | Coefficient of viscosity           | Н·с/м <sup>2</sup><br>(Па·с) или<br>кг/(м·с) | дин·с/см <sup>2</sup><br>или г/(см·с)<br>(Пз) | $1 \text{ кг/(м·с)} =$<br>$= 10 \text{ г/(см·с)}$                  |
| Кинематический коэффициент | Kinematic coefficient of viscosity | м <sup>2</sup> /с                            | См <sup>2</sup> /с (Ст)                       | $1 \text{ м}^2/\text{с} = 10^4 \text{ см}^2/\text{с}$              |

**Физические свойства жидкостей**  
при температуре 20°C и атмосферном давлении

| Вещество          | $\rho$ , кг/ м <sup>3</sup> | Вещество         | $\rho$ , кг/ м <sup>3</sup> |
|-------------------|-----------------------------|------------------|-----------------------------|
|                   |                             | <b>Нефти:</b>    |                             |
| Вода              | 998,2                       | Первомайская     | 876,0                       |
| Вода морская      | 1030                        | Белозерская      | 845,3                       |
| Глицерин          | 2700                        | Урицкая          | 875,3                       |
| Скипидар          | 850,0                       | Газлинская       | 814,8                       |
| Спирт этиловый    | 800,0                       | Шаимская         | 826,9                       |
| Масло парафиновое | 800,0                       | Эхабинская       | 854                         |
|                   |                             | Тунгорская       | 885,1                       |
|                   |                             | Новодмитриевская | 840,6                       |

| Вещество              | $\rho$ , кг/ м <sup>3</sup> | Вещество      | $\rho$ , кг/ м <sup>3</sup> |
|-----------------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|
| <b>Нефтепродукты:</b> |                             | <b>Масла:</b> |                             |
| Алкилбензол           | 883                         | ЦИАТИМ –1-м   | 883                         |
| Бензин Б-70           | 890                         | МС-14         | 890                         |
| Бензин «калоша»       | 895                         | МС-20         | 895                         |
| Бензол                | 905                         | МК-22         | 905                         |
| Гептан                | 900                         | МС-24         | 900                         |
| Изооктан              | 895                         | МС-Э          | 895                         |
| Керосин осветительный | 896                         | Веретенное    | 896                         |
| Ксилол нефтяной       | 911                         | Машинное      | 911                         |
| Толуол нефтяной       | 922                         | Цилиндровое   | 922                         |

Если плотность нефтепродукта определена не при температуре 20°C, а при другой температуре, ее значение  $\rho_t$  может быть пересчитано в нормальное значение  $\rho_{20}$  по следующей формуле:

$$\rho_{20} = \rho_t + \gamma (t - 20),$$

где  $\rho_t$  - плотность нефтепродукта при температуре испытания;

$\gamma$  - средняя температурная поправка плотности, которая берется по *таблице* в графе соответствующей плотности;

$t$  - температура испытания в °C.

Средние температурные поправки плотности нефтепродуктов.

| Плотность,<br>кг/м <sup>3</sup> | Температурная<br>поправка на 1°C | Плотность,<br>кг/м <sup>3</sup> | Температурная<br>поправка на 1°C |
|---------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 690-699,9                       | 0,910                            | 850-859,9                       | 0,699                            |
| 700-709,9                       | 0,897                            | 860-869,9                       | 0,685                            |
| 710-719,9                       | 0,884                            | 870-879,9                       | 0,673                            |
| 720-729,9                       | 0,870                            | 880-889,9                       | 0,660                            |
| 730-739,9                       | 0,857                            | 890-899,9                       | 0,647                            |
| 740-749,9                       | 0,844                            | 900-909,9                       | 0,633                            |
| 750-759,9                       | 0,831                            | 910-919,9                       | 0,620                            |
| 760-769,9                       | 0,818                            | 920-929,9                       | 0,607                            |
| 770-779,9                       | 0,805                            | 930-939,9                       | 0,594                            |
| 780-789,9                       | 0,792                            | 940-949,9                       | 0,581                            |
| 790-799,9                       | 0,778                            | 950-959,9                       | 0,567                            |
| 800-809,9                       | 0,765                            | 960-969,9                       | 0,554                            |
| 810-819,9                       | 0,752                            | 970-979,9                       | 0,541                            |
| 820-829,9                       | 0,738                            | 980-989,9                       | 0,528                            |

|           |       |          |       |
|-----------|-------|----------|-------|
| 830-839,9 | 0,725 | 590-1000 | 0,515 |
| 840-849,9 | 0,712 |          |       |

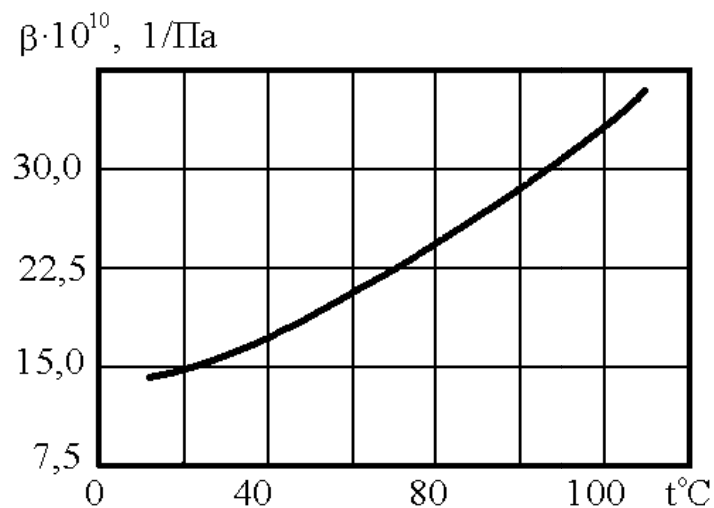
### Упругие свойства жидкости

#### Коэффициент объемного сжатия

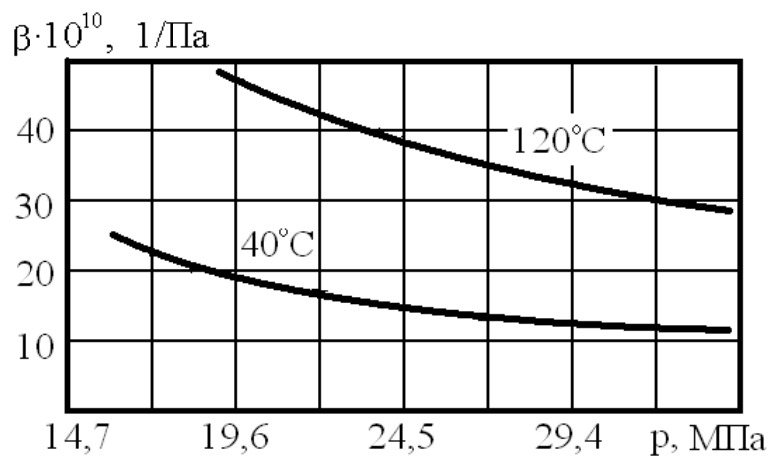
| Жидкость             | Коэффициент<br>объемного<br>сжатия,<br>$\text{Па}^{-1}$ | Жидкость                    | Коэффициент<br>объемного<br>сжатия,<br>$\text{Па}^{-1}$ |
|----------------------|---|-----------------------------|---|
| Бензин               | $92 \cdot 10^{-11}$                                     | Пентан                      | $314 \cdot 10^{-11}$                                    |
| Вода                 | $47,5 \cdot 10^{-11}$                                   | Ртуть                       | $3,71 \cdot 10^{-11}$                                   |
| Вода морская         | $43,1 \cdot 10^{-11}$                                   | Сероуглерод                 | $85,9 \cdot 10^{-11}$                                   |
| Глицерин             | $24,8 \cdot 10^{-11}$                                   | Спирт этиловый              | $76,0 \cdot 10^{-11}$                                   |
| Керосин              | $68,7 \cdot 10^{-11}$                                   | Эфир                        | $110 \cdot 10^{-11}$                                    |
| Масло<br>парафиновое | $61,9 \cdot 10^{-11}$                                   | Углерод<br>четырёххлористый | $89,6 \cdot 10^{-11}$                                   |

#### *Зависимость коэффициента объемного сжатия воды от давления*

| Предел изменения давления,<br>МПа | Коэффициент объемного сжатия,<br>$\text{Па}^{-1}$ |
|-----------------------------------|---|
| 0,1-2,5                           | $49,51 \cdot 10^{-11}$                            |
| 2,5-50                            | $47,5 \cdot 10^{-11}$                             |
| 100-150                           | $35,8 \cdot 10^{-11}$                             |
| 250-300                           | $26,1 \cdot 10^{-11}$                             |



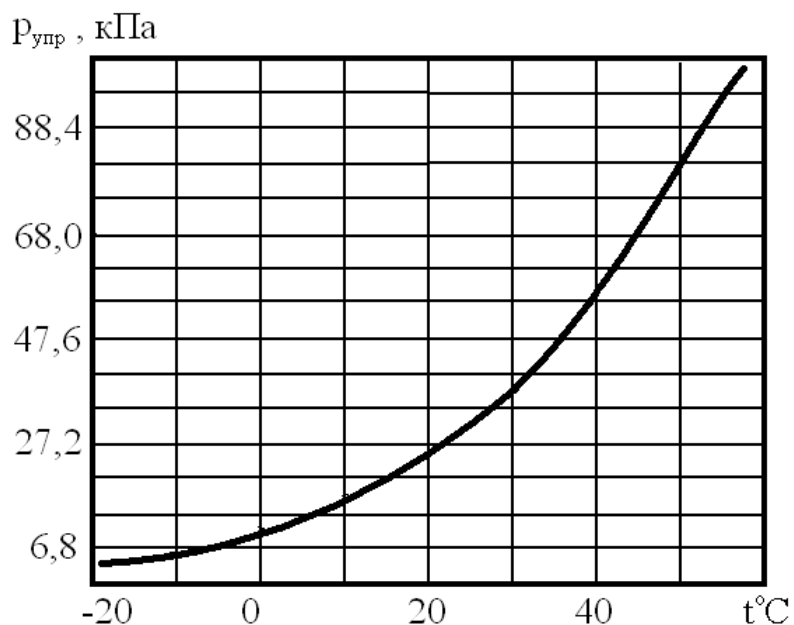
Зависимость коэффициента объемного сжатия от температуры для нефти (Новодмитриевское месторождение).



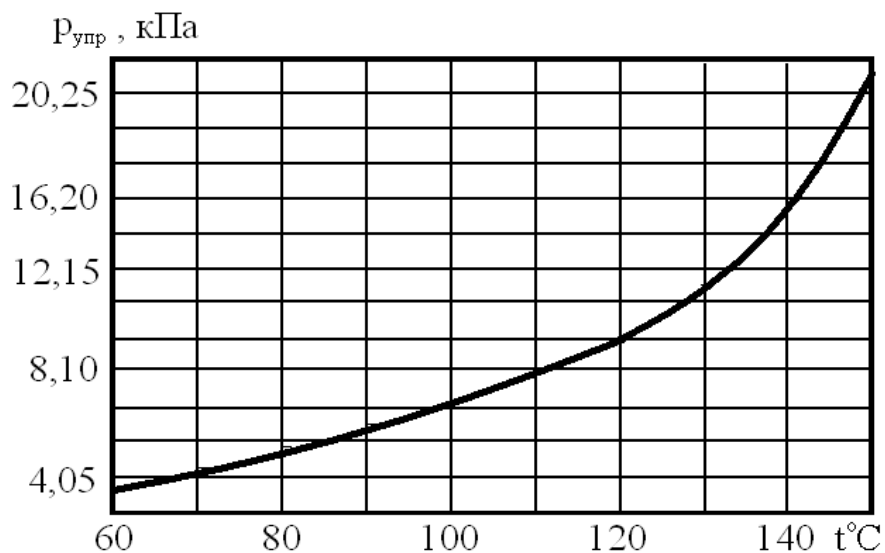
Зависимость коэффициента объемного сжатия от давления для нефти (Новодмитриевское месторождение).



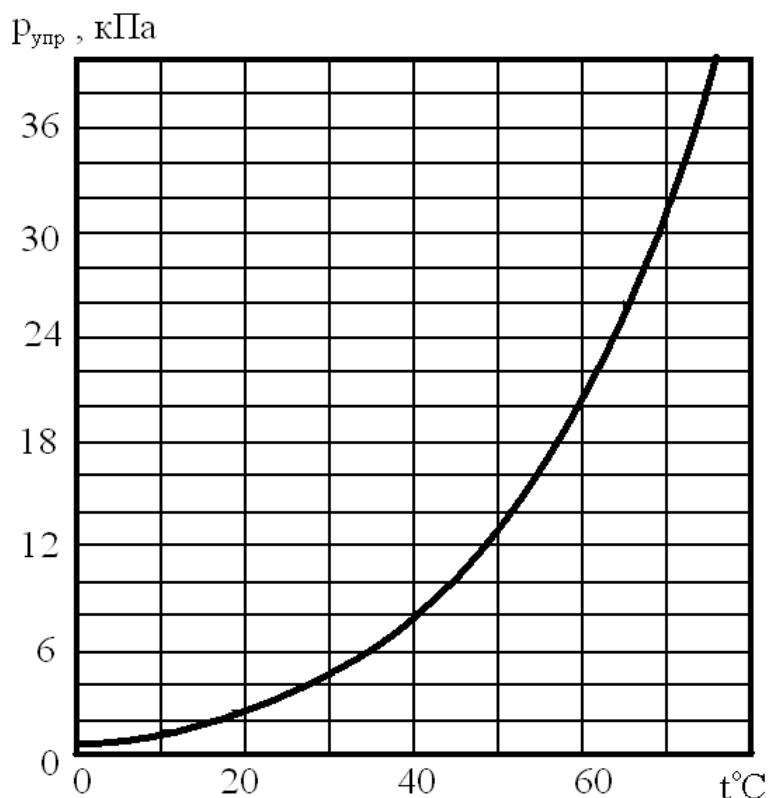
### Упругость насыщенных паров



Зависимость упругости насыщенного пара авиабензина от температуры.



Зависимость упругости насыщенного пара Грозненского керосина от температуры.



Зависимость упругости насыщенного пара воды от температуры.

### Упругость насыщенного пара нефтей некоторых месторождений

| Нефти            | Упругость паров, МПа |        |
|------------------|----------------------|--------|
|                  | 38°C                 | 50°C   |
| Первомайская     | 0,00122              | 0,0293 |
| Урицкая          | 0,0047               | 0,0139 |
| Газлинская       | 0,00504              | 0,0098 |
| Шаимская         | 0,0438               | 0,0492 |
| Эхабинская       | 0,0429               | 0,0670 |
| Новодмитриевская | 0,0413               | -      |

**Вязкость жидкости**

Динамический коэффициент вязкости  $\mu$  воды в зависимости  
от температуры  $t$

| $t, \text{C}$ | $\mu \cdot 10^3,$<br>кг/(м·с) | $t, \text{C}$ | $\mu \cdot 10^3,$<br>кг/(м·с) | $t, \text{C}$ | $\mu \cdot 10^3,$<br>кг/(м·с) | $t, \text{C}$ | $\mu \cdot 10^3,$<br>кг/(м·с) |
|---------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------|---------------|-------------------------------|
| 0             | 1,79                          | 20            | 1,00                          | 50            | 0,55                          | 90            | 0,32                          |
| 5             | 1,51                          | 25            | 0,89                          | 60            | 0,47                          | 100           | 0,28                          |
| 10            | 1,30                          | 30            | 0,80                          | 70            | 0,40                          | 125           | 0,22                          |
| 15            | 1,13                          | 40            | 0,65                          | 80            | 0,36                          | 150           | 0,18                          |

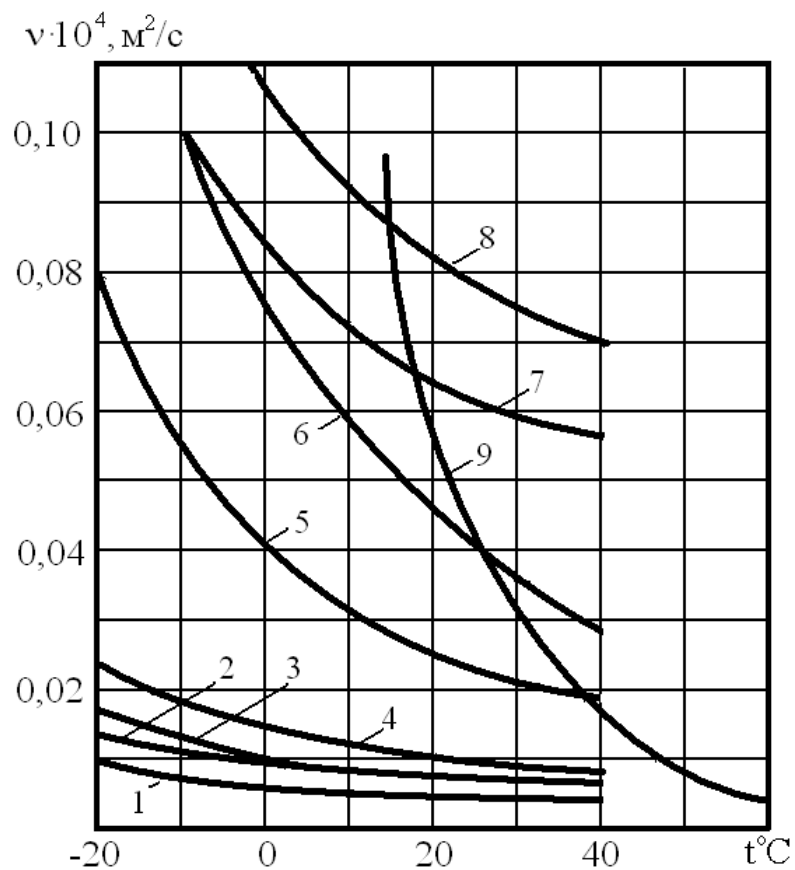
Динамический коэффициент вязкости различных жидкостей в зависимости  
от температуры  $\mu \cdot 10^3$

| Жидкость                        | 0°С   | 10°С  | 20°С  | 30°С  | 40°С  | 50°С  | 60°С  | 70°С  | 100°С |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ацетон                          | 0,397 | 0,358 | 0,324 | 0,295 | 0,272 | 0,251 | -     | -     | -     |
| Бензол                          | -     | 0,757 | 0,647 | 0,560 | 0,491 | 0,436 | 0,389 | 0,350 | -     |
| Октан                           | 0,710 | 0,618 | 0,545 | 0,485 | 0,436 | 0,394 | 0,358 | 0,326 | 0,255 |
| Пентан                          | 0,278 | 0,254 | 0,234 | 0,215 | 0,198 | 0,184 | 0,172 | 0,161 | 0,130 |
| Ртуть                           | 1,681 | 1,661 | 1,552 | 1,499 | 1,450 | 1,407 | 1,367 | 1,327 | 1,232 |
| Спирт<br>этиловый               | 1,767 | 1,447 | 1,197 | 1,000 | 0,830 | 0,700 | 0,594 | 0,502 | -     |
| Толуол                          | 0,771 | 0,668 | 0,585 | 0,519 | 0,464 | 0,418 | 0,379 | 0,345 | 0,268 |
| Углерод<br>четырёххл<br>ористый | 1,348 | 1,135 | 0,972 | 0,845 | 0,744 | 0,660 | 0,591 | 0,533 | 0,400 |
| Хлороформ                       | 0,704 | 0,631 | 0,569 | 0,518 | 0,473 | 0,434 | 0,399 | -     | -     |

|                  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Этил<br>ацетат   | 0,581 | 0,510 | 0,454 | 0,406 | 0,366 | 0,332 | 0,304 | 0,278 | -     |
| Эфир<br>этиловый | 0,294 | 0,267 | 0,242 | 0,219 | 0,199 | 0,183 | 0,168 | 0,154 | 0,119 |

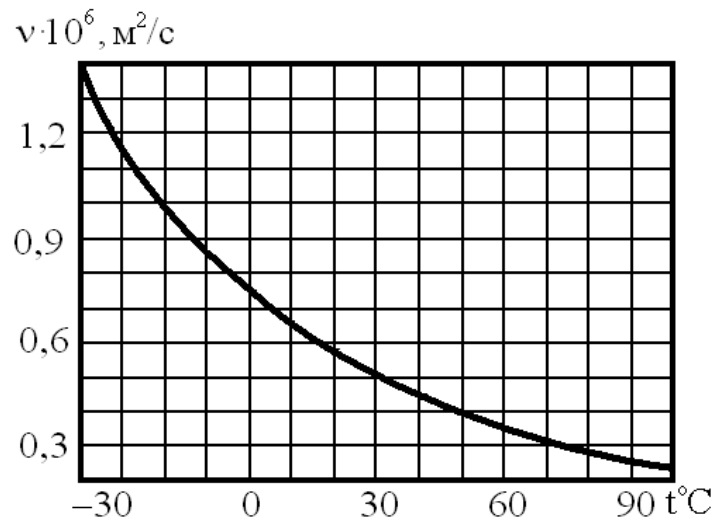
Кинематический коэффициент вязкости  $\nu$  некоторых нефтей  
(при атмосферном давлении и 20°C)

| Нефти                        | $\nu \cdot 10^6, \text{ м}^2/\text{с}$ |
|------------------------------|--|
| Первомайская                 | 21,8                                   |
| Новодмитриевская             | 7,64                                   |
| Урицкая                      | 25,76                                  |
| Газлинская                   | 2,22                                   |
| Шаимская                     | 6,8                                    |
| Эхабинская                   | 5,15                                   |
| Грозненская слабопарафиновая | 11,0                                   |
| Малгабекская                 | 47,59                                  |

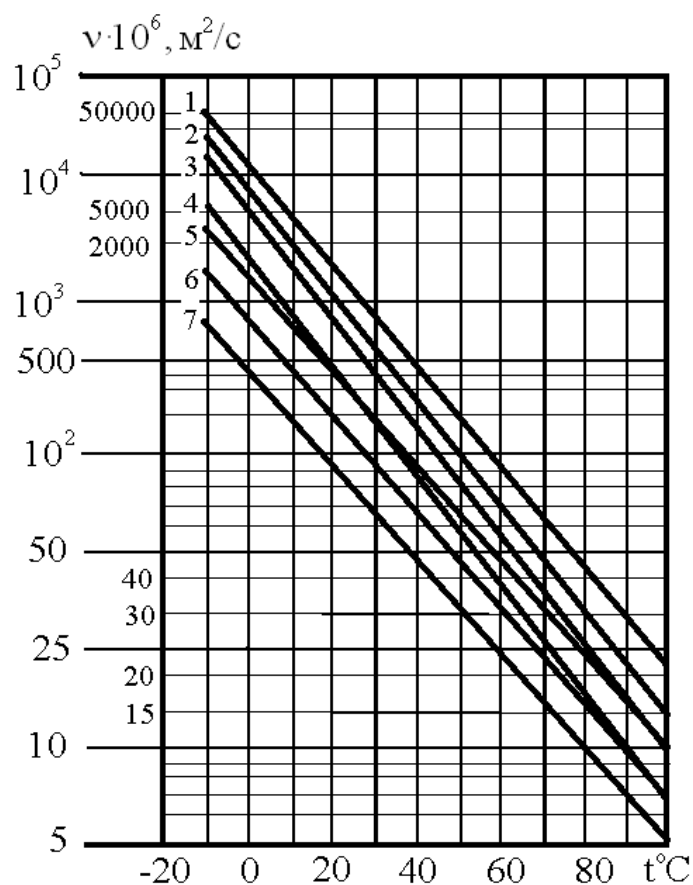


Зависимость кинематического коэффициента вязкости  
некоторых топлив от температуры

1-авиабензин парафинистый; 2-авиабензин бакинский; 3-бензин крекинг;  
4- бакинский лигроин; 5-бакинский керосин; 6-гайзоль; 7-автомобильный  
крекинг-бензин; 8-бензин КБ-70; 9-дизельное топливо.

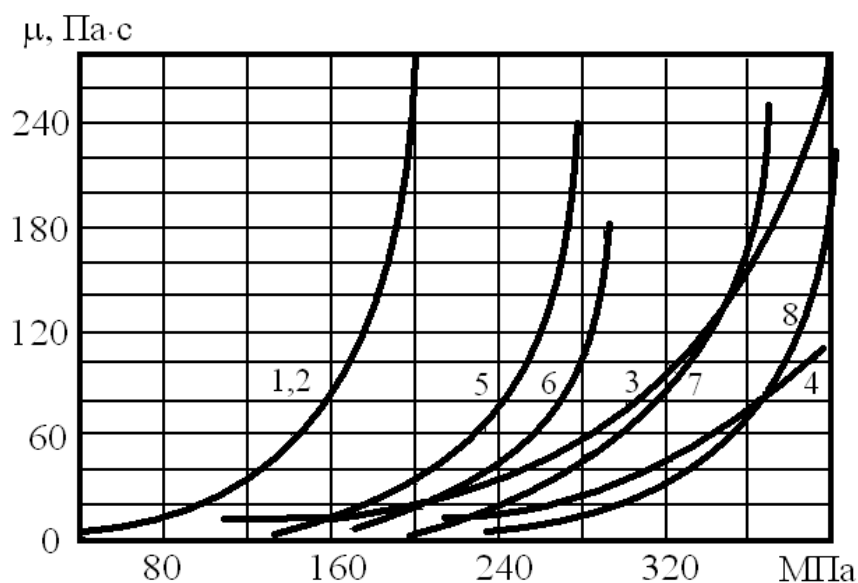


Зависимость кинематического коэффициента вязкости бензина Б-70 от температуры.



Зависимость кинематического коэффициента вязкости различных масел от температуры.

1 - МС-20; 2 - МС-14; 3 - автол 10 дистиллятный; 4 - автол 6 дистиллятный; 5 - веретенное 2, загущенное до вязкости автола 10; 6 - веретенное 2, загущенное до вязкости автола 6; 7 - веретенное 3.



Зависимость динамического коэффициента вязкости масел от давления при постоянной температуре  $t = 20 \text{ C}$ .

1-2 – масло МС повышенной и нормальной вязкости; 3 – касторовое;  
4 – синтетическое; 5 – вазелиновое; 6 – турбинное; 7 – веретенное; 8 – трансформаторное.

### Значения модуля упругости для различных материалов

| Материал        | $E \cdot 10^6, \text{ МПа}$ |
|-----------------|-----------------------------|
| Сталь           | 0,21-0,22                   |
| Железо          | 0,20-0,21                   |
| Чугун           | 0,05-0,09                   |
| Медь            | 0,115                       |
| Латунь          | 0,09                        |
| Бронза          | 0,10-0,11                   |
| Алюминий        | 0,07                        |
| Бетон           | 0,014-0,040                 |
| Каменная кладка | 0,003-0,009                 |



**Сортамент труб**

| <b>Наружный диаметр<br/><math>d_H</math>, мм</b>        | <b>Толщина стенки<br/><math>\delta</math>, мм</b> | <b>Наружный диаметр<br/><math>d_H</math>, мм</b> | <b>Толщина стенки<br/><math>\delta</math>, мм</b> |
|---|---|--|---|
| <b>1.Трубы стальные бесшовные<br/>общего назначения</b> |   | <b>3.Трубы насосно-компрессорные</b>             |   |
| 14  | 2,0   | А. Гладкие трубы                                 |   |
| 22  | 2,0   | 48,3   | 4,0   |
| 32  | 2,5   | 60,3   | 5,0   |
| 54  | 2,5   | 73,0   | 5,5   |
| 60  | 3,0   | 88,0   | 6,5   |
| 70  | 3,0   | 101,6  | 6,5   |
| 95  | 3,5   | 114,3  | 7,0   |
| 108   | 4,0   |  |   |
| <b>2.Трубы нефтепроводные и<br/>газопроводные</b>       |   | <b>В. Трубы с высаженными<br/>концами</b>        |   |
| 114   | 4,0   | 32,0   | 3,5   |
| 146   | 5,0   | 42,2   | 3,5   |
| 168   | 6,0   | 48,3   | 4,0   |
| 194   | 7,0   | 60,3   | 5,0   |
| 245   | 9,0   | 73,0   | 5,5   |
| 273   | 10,0  | 88,9   | 6,5   |
| 299   | 10,0  | 101,6  | 6,5   |
| 426   | 12,0  | 114,3  | 7,0   |
| 529   | 8,0   |  |   |
| 632   | 8,0   |  |   |

Значения коэффициентов эквивалентной шероховатости для труб из различных материалов

| <b>Материал, вид и состояние трубы</b>   | <b><math>\Delta \cdot 10^2</math>,<br/>мм</b> |
|--|---|
| <b>Давленные или тянутые трубы</b>   |   |
| Стеклянные, свинцовые, латунные, медные, цинковые, оловянные, алюминиевые, никелированные и пр., очень чистые  | 0,10  |
| <b>Стальные трубы</b>  |   |
| Бесшовные стальные трубы высшего качества изготовления.  | 1,0   |
| Новые и чистые стальные трубы  | 6,0   |
| Стальные трубопроводы, не подверженные коррозии.<br>Газопроводные трубы после одного года эксплуатации. Трубы систем отопления. Новые оцинкованные стальные трубы. | 15,0  |
| Стальные трубы подверженные коррозии.  | 50,0  |
| Стальные трубы, сильно заржавевшие.  | 200   |
| Очищенные (после сильной коррозии) стальные трубы  | 17  |
| <b>Чугунные трубы</b>  |   |
| Новые черные чугунные  | 25  |
| Обыкновенные водопроводные чугунные трубы, бывшие в употреблении   | 100   |
| Старые заржавленные чугунные трубы   | 150   |
| Очень старые, очень шероховатые, заржавленные чугунные трубы с отложениями   | 250   |
| <b>Бетонные, каменные и асбоцементные трубы</b>  |   |
| Новые асбоцементные трубы  | 4   |
| Очень тщательно изготовленные трубы из чистого цемента   | 15  |
| Обыкновенные чистые бетонные трубы   | 50  |

Значения усредненных коэффициентов местных сопротивлений (квадратичная зона)

| Сопротивление   | $\zeta_{кв}$ |
|---|--------------|
| Вход в трубу:   |              |
| с острыми кромками выход из трубы                             | 0,50         |
| вдающийся внутрь резервуара                                   | 1,00         |
| выход из трубы  | 1,00         |
| Угольник с углом поворота:                                    |              |
| 45°   | 0,44         |
| 90°   | 1,32         |
| Колено плавное (90°)  | 0,23         |
| Тройник   | 0,32         |
| Шаровой клапан  | 45,00        |
| Вентиль обычный   | 4,00         |
| Прижимная коробка трубы с клапаном и сеткой при $d_{тр}$ , мм |              |
| 100   | 7,00         |
| 150   | 6,00         |
| 200   | 5,20         |
| 300   | 3,70         |
| Задвижка:   |              |
| полностью открытая ( $n = 1$ )                                | 0,15         |
| $n = 0,75$  | 0,20         |
| $n = 0,5$   | 2,00         |
| $n = 0,4$   | 4,60         |
| $n = 0,3$   | 10,00        |

|  |       |
|--|-------|
| $n = 0,2$  | 35,00 |
| Кран пробковый   | 0,40  |
| Фильтры для нефтепродуктов:                            |       |
| светлых  | 1,70  |
| темных   | 2,20  |
| Диафрагма с острыми кромками при $n = s_{от}/s_{тр}$ : |       |
| 0,4  | 7,00  |
| 0,5  | 4,00  |
| 0,6  | 2,00  |
| 0,7  | 0,97  |

### ***Рекомендуемая литература***

#### ***Основная литература:***

1. Дмитриев Н.М., Кадет В.В. Гидравлика и нефтегазовая гидромеханика. – М.: ИЦ РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2016.
2. Лурье М.В., Астрахан И.М., Кадет В.В. Гидравлика и ее приложения в нефтегазовом производстве. – М.: МАКС Пресс, 2010.
3. Сборник задач по гидравлике и газодинамике для нефтегазовых вузов под ред. В.В.Кадета – М.: изд. «Грифон», 2007.
4. Астрахан И.М. Динамика вязких жидкостей (ньютоновских и неньютоновских). М.: ИЦ РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2015.

#### ***Дополнительная литература:***

1. Басниев К.С., Дмитриев Н.М., Розенберг Г.Д. «Нефтегазовая гидромеханика», М., Недра, 2015.
2. Евгеньев А.Е. Гидравлический расчет сложных трубопроводов, М., МИНХ и ГП, 1975.
3. Мищенко И.Т. Скважинная добыча нефти. М., РГУ НГ, 2003.
4. Уилкинсон У.Л. Неньютоновские жидкости. М., Мир, 1964.
5. Чугаев Р.Р. Гидравлика. Л., Энергоиздат, 1982.
6. Кудинов В.А. Гидравлика. – М.: Высш.шк., 2007.

## Содержание

|   |    |
|---|----|
| Введение  | 3  |
| 1. Гидравлический расчет водозабора раздельного типа системы заводнения пласта с заданными диаметрами водозаборных труб | 6  |
| 2. Гидравлический расчет водозабора с береговым колодцем.   | 9  |
| 3. Гидравлический расчет промыслового сборного коллектора нефти   | 11 |
| 4. Расчет всасывающей линии насоса  | 15 |
| 5. Гидравлический расчет всасывающей линии насосной установки   | 17 |
| 6. Гидравлический расчет параметров кустовой насосной станции   | 20 |
| 7. Гидравлический расчет резервуара с коммуникациями  | 23 |
| 8. Гидравлический расчет нагнетательной линии   | 25 |
| 9. Гидравлический расчет сложного разветвленного трубопровода   | 27 |
| 10. Гидравлический расчет трубопроводной системы  | 30 |
| 11. Гидравлический расчет системы с ответвлениями   | 32 |
| 12. Гидравлический расчет и исследование сифонного слива для нефтепродукта  | 35 |
| 13. Гидравлический расчет сложного трубопровода   | 38 |
| 14. Гидравлический расчет трубопроводной системы с замерной установкой  | 40 |
| 15. Расчет трубопроводной системы самотечного слива   | 42 |
| 16. Гидравлический расчет промысловой системы   | 44 |
| 17. Гидравлический расчет сифонного трубопровода  | 47 |
| 18. Гидравлический расчет системы сбора нефти   | 50 |
| 19. Гидравлический расчет системы промыслового сбора нефти  | 52 |
| 20. Гидравлический расчет резервуара с коммуникациями   | 54 |
| 21. Расчет мазутопровода при движении вязкопластичной жидкости  | 60 |
| 22. Расчет мазутопровода при движении псевдопластичной жидкости   | 62 |
| 23. Исследование пульсаций давления на расход при ламинарном движении неньютоновских жидкостей в трубах                 | 64 |

|   |    |
|---|----|
| Приложение 1. Пример титульного листа курсовой работы | 67 |
| Приложение 2.   | 68 |
| Рекомендуемая литература                              | 85 |

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

**ДРОЗДОВА Ю.А., КРАВЧЕНКО М.Н.,  
РАЗБЕГИНА Е.Г.**

**ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СЛОЖНЫХ  
ТРУБОПРОВОДОВ**

Редактор \_\_\_\_\_

Художник-график \_\_\_\_\_

Технический редактор \_\_\_\_\_

Корректор \_\_\_\_\_

Компьютерная верстка \_\_\_\_\_

---

Подписано в печать \_\_\_\_\_. Формат 60х90/16. Усл. п.л. 1,25.

Гарнитура «Таймс». Печать офсетная. Тираж 150 экз. Заказ №231

---

Издательский центр

РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина

119991, Москва, Ленинский проспект, 65

Тел./факс: \_\_\_\_\_