

На правах рукописи

Примеры и упражнения

**Unifloc 7 VBA**

Unifloc 7.16 VBA

Хабибуллин Ринат  
Кобзарь Олег

Москва 2019

## Оглавление

	Стр.
<b>Глава 1. Упражнения по работе с пользовательскими функциями</b>	
<b>Unifloc 7.16 VBA</b> . . . . .	<b>3</b>
1.1 Трюки и лайфхаки при работе в excel с функциями Unifloc 7.16 VBA	3
1.2 Работа с таблично заданными кривыми . . . . .	5
1.2.1 Интерполяция линейная и сплайнами . . . . .	6
1.3 Расчет базовых PVT свойств флюидов . . . . .	7
1.4 Расчет свойств потока флюидов . . . . .	8
1.5 Расчет производительности скважины . . . . .	10
1.6 Расчет штуцера . . . . .	12
1.7 Расчет распределения давления в трубе . . . . .	13
1.8 Расчет коэффициентов сепарации . . . . .	15
1.9 Анализ работы ЭЦН . . . . .	16
1.10 Анализ работы ПЭД . . . . .	21
1.11 Анализ работы фонтанирующей скважины . . . . .	24
1.12 Анализ работы скважины, оснащенной УЭЦН . . . . .	27
1.13 Анализ работы скважины, оснащенной ЭЦН, фонтанирующей через затрубное пространство . . . . .	31
1.14 Набор расчетных модулей анализа скважины . . . . .	33
1.14.1 Расчетный модуль анализа и настройки PVT свойств . . . . .	34
<b>Словарь терминов</b> . . . . .	<b>35</b>

## Глава 1. Упражнения по работе с пользовательскими функциями Unifloc 7.16 VBA

Освоить работу с расчетными функциями Unifloc 7.16 VBA можно выполняя упражнения описанные в данном разделе и изучая устройство тестовых расчетных модулей. Упражнения демонстрируют некоторые типовые приемы работы с пользовательскими функциями Unifloc 7.16 VBA. На основе этих приемов можно создать свои расчетные модули решающие специфические задачи пользователя. Примеры не являются исчерпывающими. Варианты работы с расчетными модулями Unifloc 7.16 VBA не ограничиваются описанными приемами. Цель данного описания - помочь сделать первые шаги в проведении расчетов. Упражнения помогут:

- освоить принципы работы с пользовательскими функциями Unifloc 7.16 VBA
- изучить основы проведения инженерных расчетов в области добычи нефти

### 1.1. Трюки и лайфхаки при работе в excel с функциями Unifloc 7.16 VBA

Знание некоторых трюков может сильно упростить работу с пользовательскими функциями Unifloc 7.16 VBA.

1. Для работы с примером должна быть запущена надстройка Unifloc 7.16 VBA. Убедиться, что надстройка запущена можно найдя вкладку Unifloc в панели меню Excel, рис. 1.1.

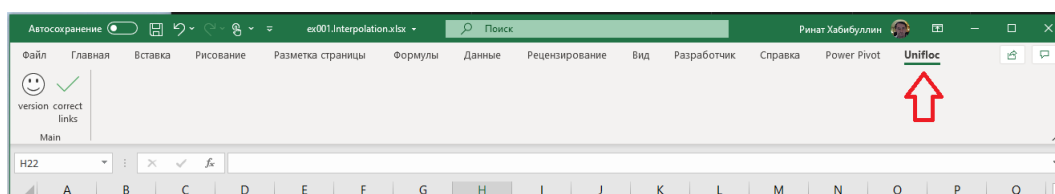


Рис. 1.1 — Открытая панель Unifloc

2. При необходимости вывести массив значений как результат расчета функций `crv_solve` или `crv_intersection` используйте комбина-

цию клавиш **Cntrl+Shift+Enter** или динамические массивы<sup>1</sup> (для новых версий Excel). Если для динамических массивов требуется подавить вывод массива - используйте знак **@** в строке вызова, например как **=@crv\_solve(...)**.

3. Все названия функций Unifloc 7.16 VBA начинаются с префикса. Это позволяет быстро искать необходимые функции. При запущенной надстройке достаточно начать вводить в ячейку формулу, например ввести **=PVT** как Excel откроет выпадающий список с подсказкой, показывающий возможные варианты названий функций (смотри рис. 1.2).

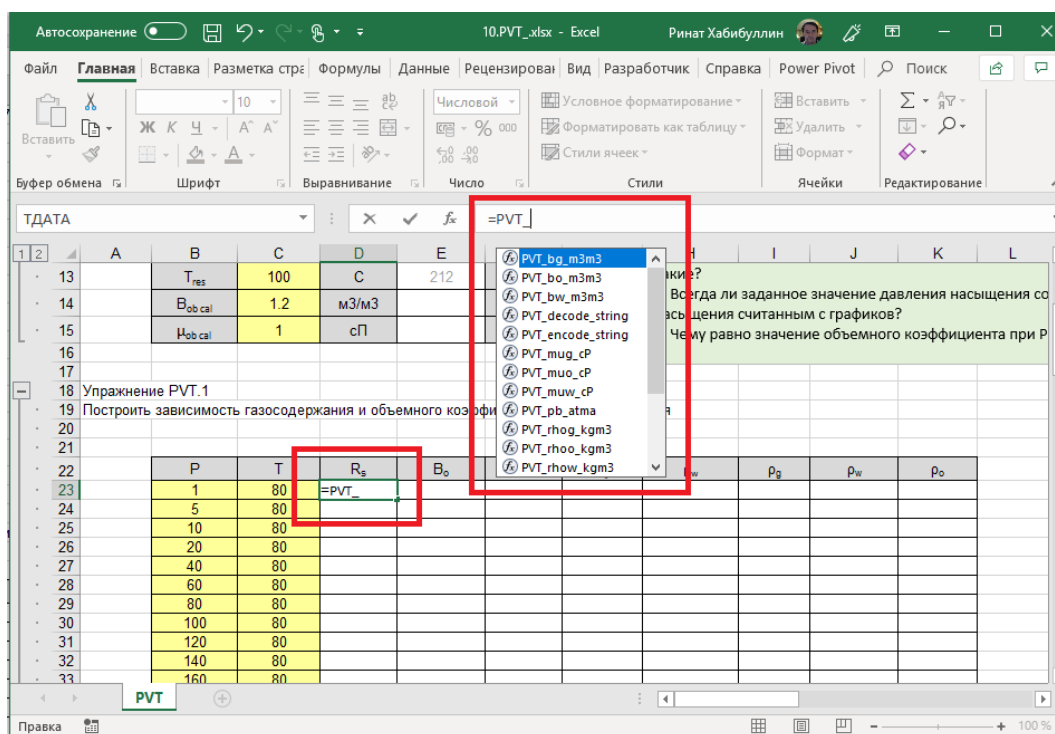


Рис. 1.2 — Выпадающий список с подсказками названий функции

4. Из выпадающего списка выберите функцию **=PVT\_Rs\_m3m3** (после чего нажмите кнопку  **$f_x$**  "вставить функцию" слева от строки формул. Это вызовет окно задания параметров функции, в котором будут указаны все параметры, которые необходимо ввести (смотри рис. 1.3). В этом окне можно задать необходимые значения параметров или указать ссылки на соответствующие ячейки. Для "хороших" функций в окне задания параметров функции будут подсказки. Также в окне задания параметров можно сразу видеть результат расчета если задан достаточный набор параметров.

<sup>1</sup> подробнее про динамические массивы (dynamic arrays) можно посмотреть в интернете, например - <https://www.planetaexcel.ru/techniques/2/9112/>

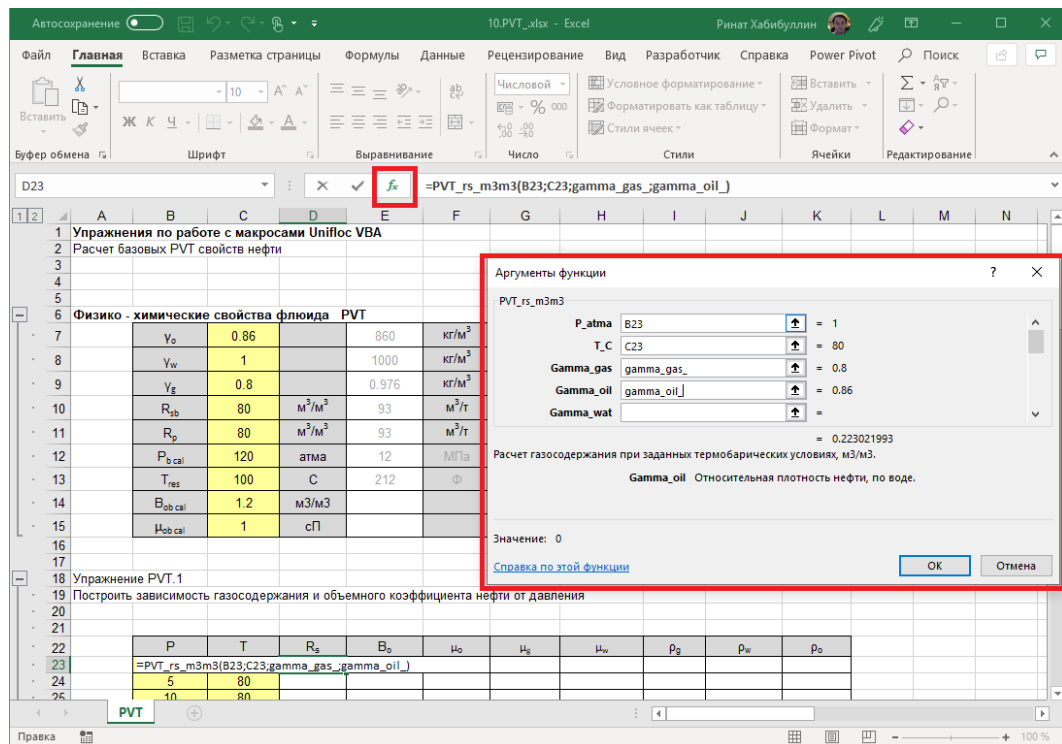


Рис. 1.3 — Окно ввода аргументов функции

5. После ввода всех параметров и нажатия кнопки ОК в ячейке должен отобразиться результат расчета. Воспользовавшись инструментом "Влияющие ячейки" на вкладке "Формулы" можно отследить на какие ячейки ссылается введенная формула (смотри рис. 1.4)

## 1.2. Работа с таблично заданными кривыми

Инженерный анализ требует умения ловко работать с графическими данными - кривыми, картами, кросс плотами и графиками. Кроме отображения графических данных, что легко делается стандартными программами - часто требует проводить по ним расчеты. Набор функций Unifloc 7.16 VBA для работы с таблично заданными кривыми может оказать полезными для этих целей.

Функции Unifloc 7.16 VBA для работы с таблично заданными кривыми начинаются с префикса `crv_`, от слова *curve*. Доступна функциональность

- интерполяции различными методами (работает и экстраполяция)
- поиска решения уравнения вида  $f(x) =$  где функция  $f(x)$  задана таблицей (ищется решение для линейной аппроксимации)

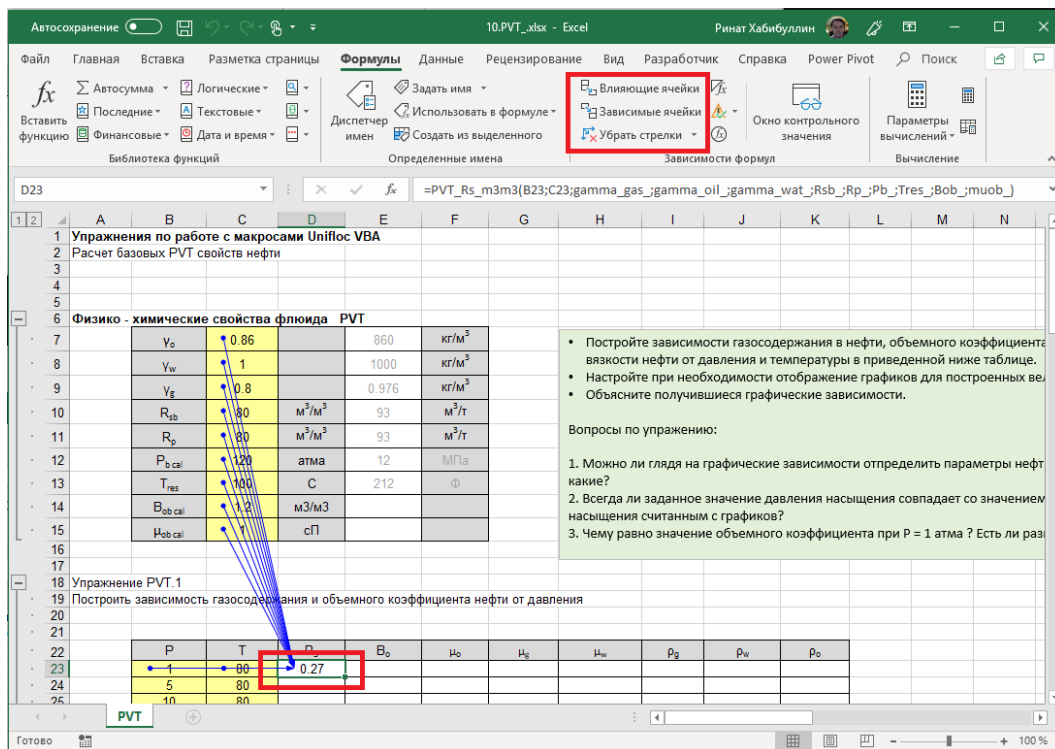


Рис. 1.4 — Результат вызова пользовательской функции с отображение влияющих ячеек

- поиска пересечений двух кривых заданных таблицами (ищется решение для линейно аппроксимации)

В коде можно обнаружить еще ряд функций, но они не будут описываться в данном руководстве, хотя по ним можно найти примеры в папке `examples` репозитория.

### 1.2.1. Интерполяция линейная и сплайнами

Файл примера `ex001.Interpolation.xlsx` можно найти в папке `exercises` репозитория Unifloc 7.16 VBA.

1. Для работы с примером должна быть запущена надстройка Unifloc 7.16 VBA. Убедиться, что надстройка запущена можно найдя вкладку Unifloc в панели меню Excel, рис. 1.1.
2. Откройте файл с упражнением `ex001.Interpolation.xlsx` (смотри рис. 1.5).

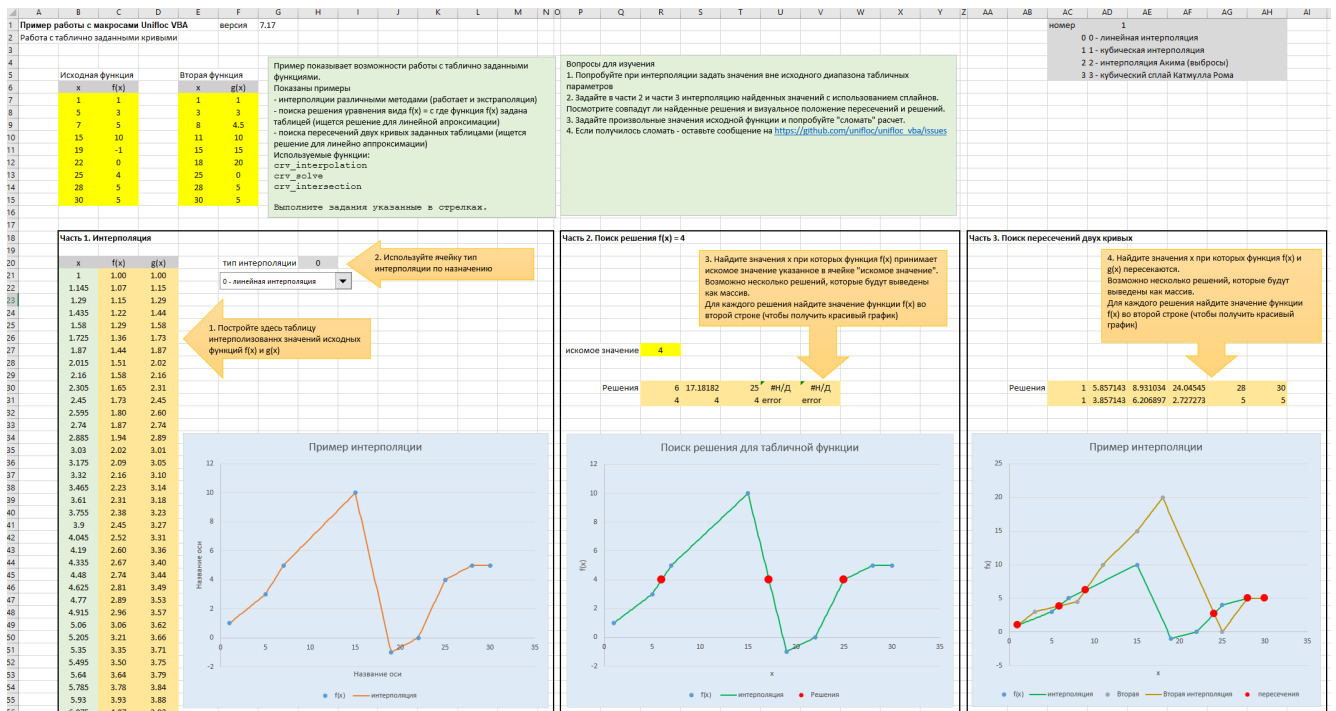


Рис. 1.5 — Упражнение ex001.Interpolation.xlsx со всеми заполненными полями

Пример разделен на три части: Часть 1. Интерполяция; Часть 2. Поиска решения  $f(x) = c$ ; Часть 3. Поиск пересечения двух кривых.

3. Выполните задания указанные в стрелках (последовательность выполнения по номерам стрелок). При этом должны автоматически построиться графики как на рисунке 1.5).
4. Постарайтесь ответить на вопросы в блоке "Вопросы для изучения"

### 1.3. Расчет базовых PVT свойств флюидов

Расчет физико химических свойств пластовых флюидов (PVT параметров) лежит в основе всех расчетов систем нефтедобычи. При решении прикладных задач редко возникает необходимость расчета PVT свойств непосредственно, однако понимание принципа их расчета, а особенно зависимости результатов расчета от исходных данных важно.

Для выполнения упражнения используйте файл "ex010.PVT.xlsx"

1. Откройте файл с упражнением 10.PVT.xlsx (смотри рис. 1.6).





ном состоянии. На практике приходится иметь дело с флюидами двигающимися в скважине или трубопроводе - с потоком флюидов. В потоке флюидов добавляются дополнительные параметры – расход флюидов или дебит  $Q_{liq}, Q_g$  и обводненность  $f_w$  – показатель показывающий объемную долю воды в потоке. Функции работающие с потоками в Unifloc 7.16 VBA имеют префикс MF\_. Префикс должен намекать на многофазность потока и на самом деле плох с лингвистической точки зрения (multiphase - has no F letter), но удобен с программистской точки зрения и уже поздно его менять.

Файл примера ex011.Gas\_fraction.xlsx можно найти в папке exercises репозитория Unifloc 7.16 VBA.

1. Откройте файл с упражнением `10.PVT.xlsx` (смотри рис. 1.7).

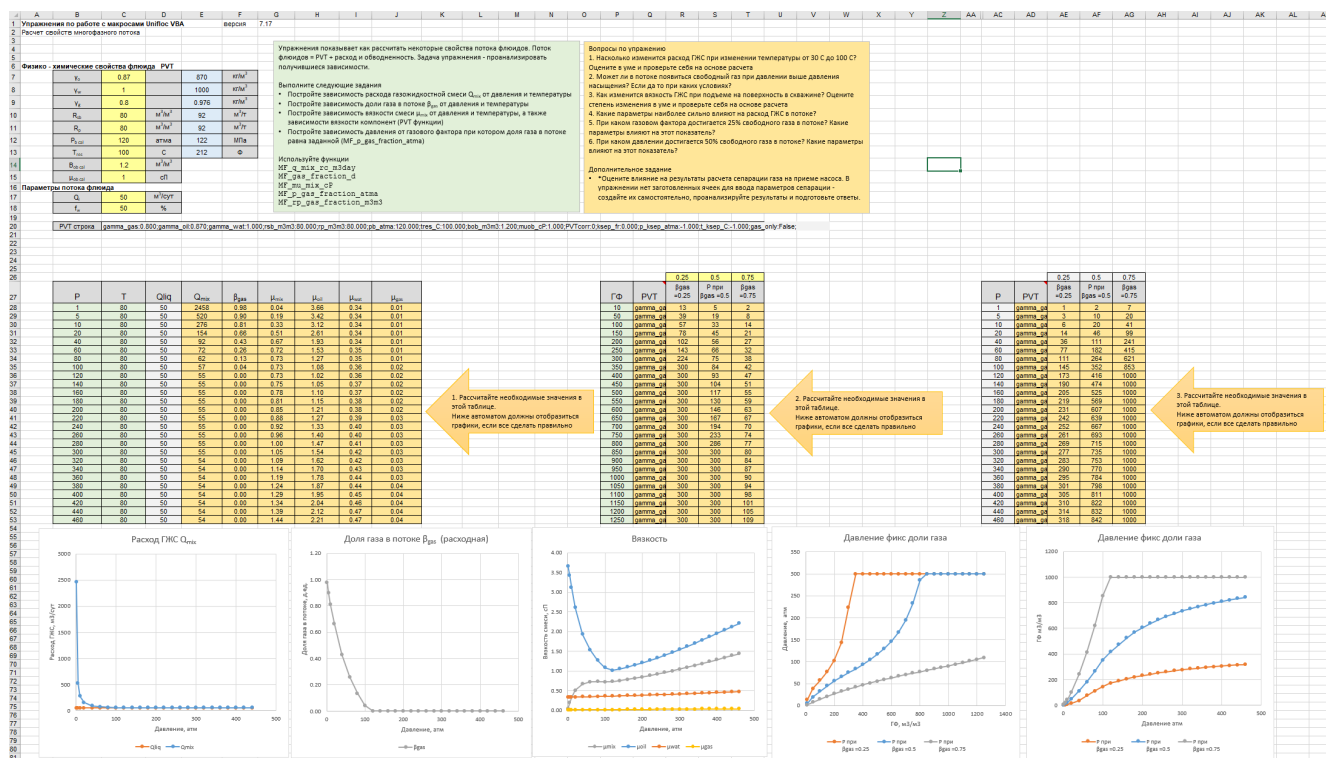


Рис. 1.7 — Упражнение ex011.Gas\_fraction.xlsx со всеми заполненными полями

2. Выполните задания указанные в описании. Задания просты – требуется рассчитать три таблицы значений для построения графиков и провести анализ построенных графиков. Названия необходимых функций указаны в описании 1.7). Вопросы по упражнению помогут вам провести анализ. Текст заданий не приводится в описании, так как файлы упражнений пер-

вичны. Любые изменения скорее будут вноситься в файлы с заданиями, нежели в описание.

3. Ответьте на вопросы по упражнению приведенные в рабочей книге.
4. Выполните дополнительное задание, если чувствуете силы. В дополнительном задании говорится о сепарации газа на приеме насоса. Имеется в виду следующее - если у нас есть пластовые флюиды, свойства которых мы знаем и можем задать, то после сепарации части свободного газа, что часто происходит на скважинном насосе, свойства флюида изменятся. Изменится его эффективное давление насыщения (потому что мы убрали часть газа) и газосодержание при давлении насыщения. И соответственно поплывут и остальные свойства. Это можно учесть задав в `PVT_Encode()` три параметра - коэффициент сепарации газа  $K_{sep}$ , давление при которой произошла сепарации  $P_{sep}$  и температуру при которой произошла сепарация  $T_{sep}$ . Подробнее про это можно найти в соответствующих разделах (потому тут это задание дополнительное).

### 1.5. Расчет производительности скважины

Стационарная модель притока к скважине (закон Дарси с поправкой Воге-ля) - одна из самых простых и распространенных моделей, широко применяемая в индустрии. Unifloc 7.16 VBA содержит функции позволяющие упростить расчет индикаторной кривой. Такие функции имеют префикс `IPR_` от Inflow Performance Relationship.

Файл примера `ex020.IPR.xlsx` можно найти в папке `exercises` репозитория Unifloc 7.16 VBA.

1. Откройте файл с упражнением `ex020.IPR.xlsx` (смотри рис. 1.8).
2. Выполните задания указанные в описании. Задания просты – требуется рассчитать три таблицы значений для построения графиков и провести анализ построенных графиков. Названия необходимых функций указаны в описании 1.7). Вопросы по упражнению помогут вам провести анализ. Текст заданий не приводится в описании, так как файлы упражнений первичны. Любые изменения скорее будут вноситься в файлы с заданиями, нежели в описание.

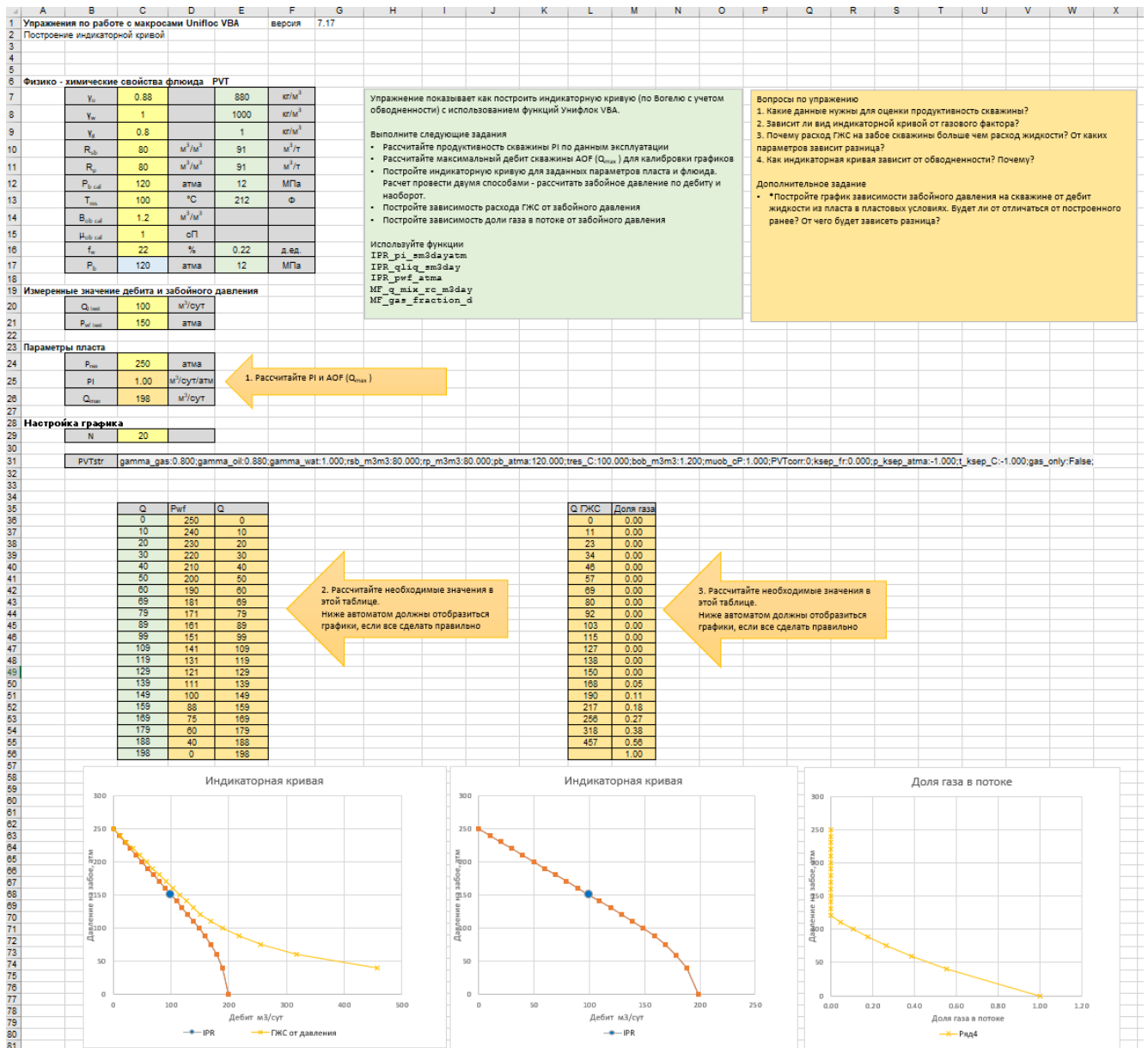


Рис. 1.8 — Упражнение ex020.IPR.xlsx со всеми заполненными полями

3. Ответьте на вопросы по упражнению приведенные в рабочей книге.

4. Выполните дополнительное задание, если чувствуете силы.

Коэффициент продуктивности  $PI$  скважины рассчитывается в ячейке C25 по замеренным данным с помощью функции

$$=IPR\_PI\_sm3dayatm(qltest\_;Pwftest\_;Pres\_;fw\_;Pb\_)$$

А максимальный дебит  $Q_{max}$  при максимальной депрессии с забойным давлением равным нулю

$$=IPR\_Qliq\_sm3Day(PI\_;Pres\_;0;fw\_;Pb\_)$$

## 1.6. Расчет штуцера

Для контроля дебита и/или давления на добывающих скважинах вблизи устья может устанавливаться штуцер. Для штуцера, как для любого гидравлического элемента, возможно 4 варианта расчета - расчет давления по потоку, расчет давления против потока, расчет потока по давлениям и настройка модели штуцера по известным давлениям и потоку. В упражнении демонстрируются все варианты расчета.

Файл примера `ex040.MF_choke.xlsx` можно найти в папке `exercises` репозитория Unifloc 7.16 VBA.

1. Откройте файл с упражнением `ex040.MF_choke.xlsx` (смотри рис.1.9).

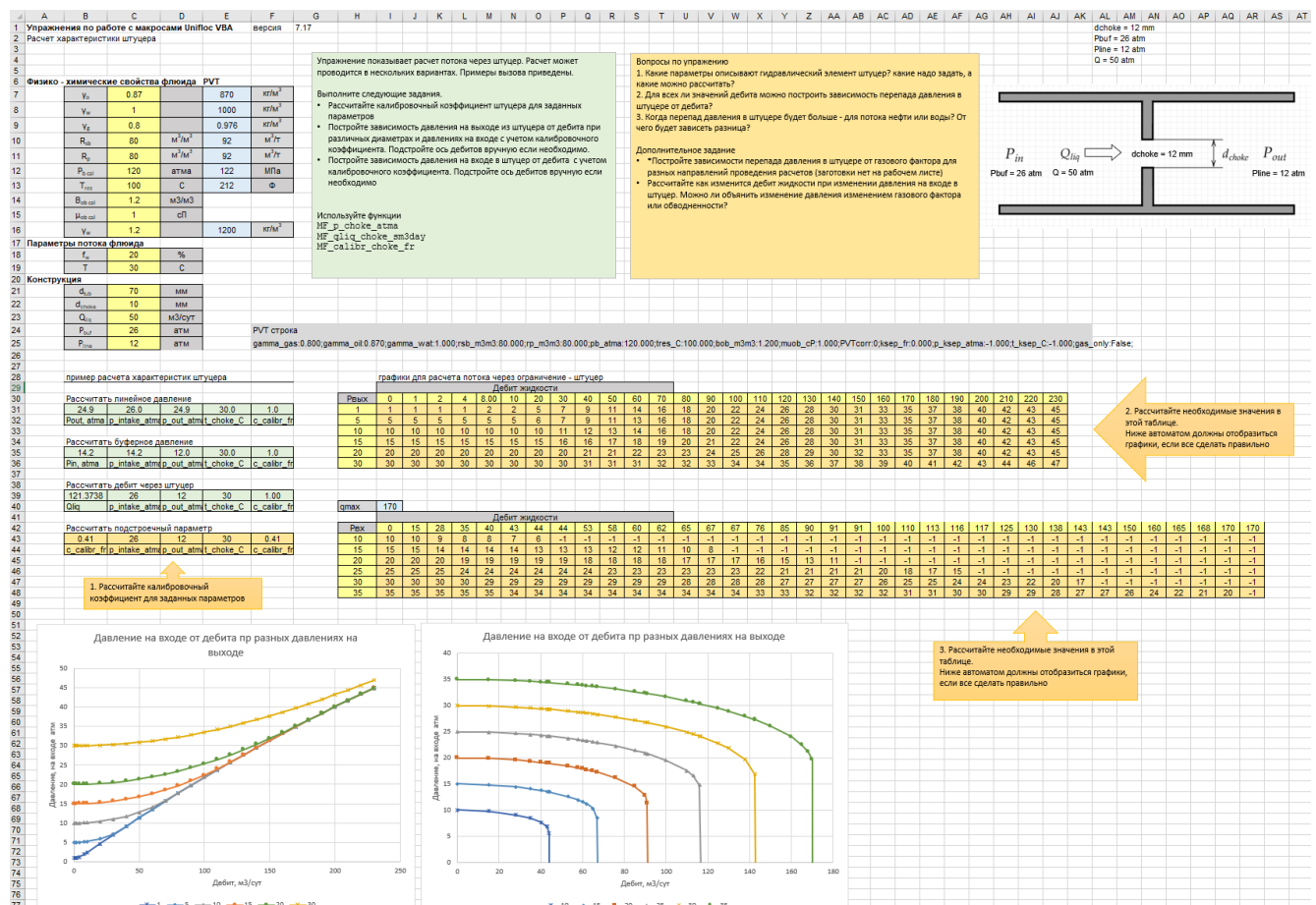


Рис. 1.9 — Упражнение `ex040.MF_choke.xlsx` со всеми заполненными полями

2. Выполните задания указанные в описании. Названия необходимых функций указаны в описании 1.7). При построении графиков может потребоваться изменить значения дебитов по которым проводится расчет для корректного отображения графиков. Текст заданий не приводится в описании, так как файлы упражнений первичны. Любые изменения скорее будут вноситься в файлы с заданиями, нежели в описание.
3. Ответьте на вопросы по упражнению приведенные в рабочей книге.
4. Выполните дополнительное задание, если чувствуете силы.

### 1.7. Расчет распределения давления в трубе

На распределение давления в трубе среди прочих параметров влияют режим потока газожидкостной смеси и явление проскальзывание газа. Недоучет данных параметров может привести к значительным ошибкам. Методы для расчета распределения давления можно разделить на две категории: корреляции, полученные экспериментальным путем и механистические модели, в основе которых заложены физические модели.

Для выполнение упражнения задайте PVT свойства флюидов, свойства потока и параметры трубы.

[illegible]

Рис. 1.10 — Исходные данные для расчета распределения давления

Где параметры трубы расшифровываются следующим образом:

$L$  - длина трубы, м

$ID$  - внутренний диаметр, мм

$\theta$  - угол наклона трубы от горизонтали, град

$P_0, P_1$  - давление на верхнем и нижнем конце трубы соответственно, атм

$T_0, T_1$  - температура на верхнем и нижнем конце трубы соответственно, С

Расчет давления в обоих направлениях ведется с помощью одной функции, возвращающий массив из 2 значений - давления и температуры. Выделите диапазон E33:F33, вставьте функцию

=MF\_p\_pipe\_atma(Q\_;fw\_;l0\_;C33;p0\_;PVRstr1\_;theta\_;id\_;;t0\_)

и нажмите сочетание клавиш Ctrl+Shift+Enter. Далее заполните таблицу "методом протяжки" сверху-вниз

Обратите внимание, что расчет на каждом шаге основывается на значениях предыдущего вычисления, требуются так называемые граничные условия.

Расчет давления снизу-вверх выполните аналогично с помощью функции, "протянув" ее снизу-вверх

=MF\_p\_pipe\_atma(Q\_;fw\_;C57;C56;G57;PVRstr1\_;theta\_;id\_;;t1\_)

Для закрепления материала ответьте на вопросы

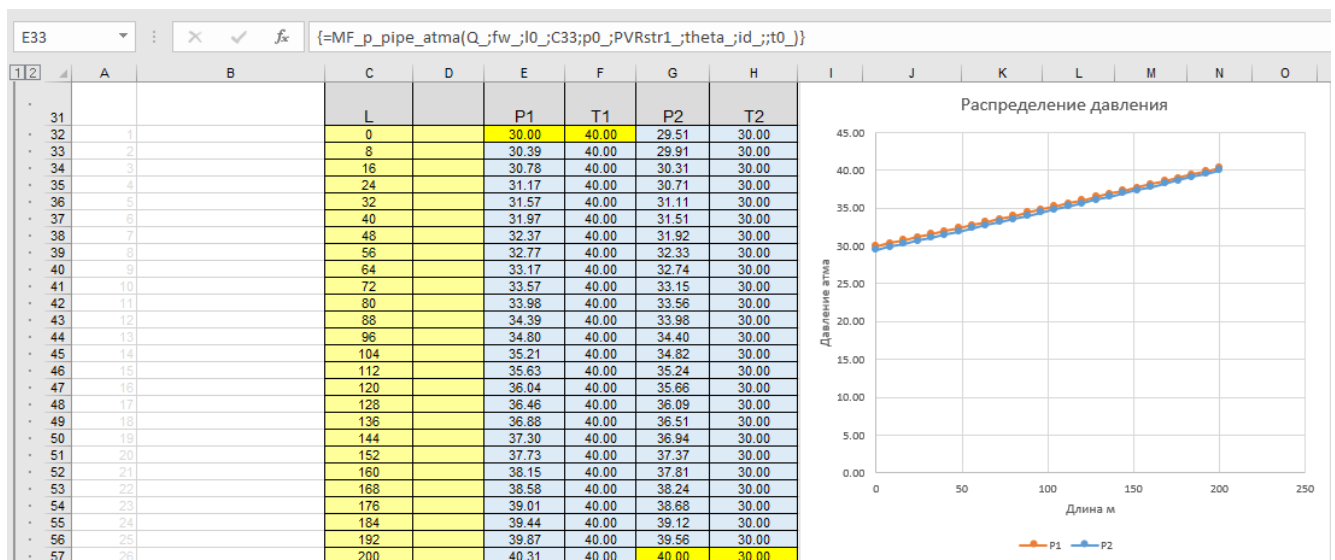


Рис. 1.11 — Распределение давления по трубе сверху-вниз и снизу-вверх

1. Какие параметры влияют на перепад давления в трубе?
2. Может ли в трубопроводе давление ниже по потоку (на выходе) быть больше чем выше по потоку (на входе)?
3. Насколько сильно влияет на расчет выбор гидравлической корреляции PVT свойства?

#### 4. Насколько сильно влияет на расчет температуры давления?

### 1.8. Расчет коэффициентов сепарации

Процессы сепарации на приеме погружного оборудования значительно влияют на процесс добычи. Как при естественной, так и при искусственной сепарации (при применении газосепараторов) меняются свойства многофазного потока, уменьшается газлифтный эффект, изменяется режим работы центробежного насоса.

В данном упражнении помимо стандартного определения PVT свойств требуется задать термобарические условия на приеме погружного оборудования (в месте, где происходит сепарация) и конструктивные параметры

1

Упражнения по работе с макросами Unifloc VBA

2

Расчет коэффициентов сепарации

3

4

5

6

Физико - химические свойства флюида

7

$\gamma_o$	0.875			875	кг/м <sup>3</sup>
$\gamma_w$	1			1000	кг/м <sup>3</sup>
$\gamma_g$	0.9			1.098	кг/м <sup>3</sup>
$R_{so}$	80	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	91	м <sup>3</sup> /т
$R_{sg}$	80	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	91	м <sup>3</sup> /т
$P_{b,cal}$	120	атм	атма	122	МПа
$T_{res}$	120	С	С	248	Ф
$B_{ob,cal}$	1.2	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>			
$\mu_{ob,cal}$	1	сР			
$f_w$	1	%			

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

Данные по скважине

19

$d_{cas}$	125	мм
$d_{intake}$	100	мм
$P_{intake}$	30	атм
$T_{intake}$	80	С

20

21

22

23

24

25

PVT строка gamma\_gas:0.900;gamma\_oil:0.875;gamma\_wat:1.000;rsb\_m3m3:80.000;rp\_m3m3:80.000;pb\_atma:120.000;tres\_C:120.000;bob\_m3m3:1.200;muob\_cP:1.000;PVTcorr:0;ksep\_fr:0.000;pksep\_atma:-1.000;tksep\_C:-1.000;

26

Дополнительные вопросы по упражнению (направления исследований)

1. От каких параметров будет зависеть коэффициент сепарации?

Дополнительные вопросы по упражнению (направления исследований)

1. От каких параметров будет зависеть коэффициент сепарации?

Рис. 1.12 — Исходные данные для сепарации

где

$d_{cas}$  - диаметр обсадной колонны, мм

$d_{intake}$  - диаметр приема погружного оборудования, мм

$P_{intake}$  - давление на приеме, атм

$T_{intake}$  - температура на приеме, С

Для вычисления коэффициента естественной сепарации в зависимости от дебита вставьте в ячейку E32 следующую формулу

```
=MF_ksep_natural_d(C32; wc; Pintake; Tintake; Dintake; Dcas; PVT_str_)
```



Для проведения экспериментов по влиянию изменения диаметра обсадной колонны воспользуйтесь в ячейке F32 формулой

```
=MF_ksep_natural_d(C32; wc_; Pintake_; Tintake_; Dintake_;  
Dcas_*cf_dcas_; PVT_str_)
```

При этом в ячейке F30 с помощью коэффициента Вы можете варьировать диаметр обсадной колонны

Для расчета доли газа в газосепараторе применяется функция

```
=MF_gas_fraction_d(Pintake_;Tintake_;0;PVT_str_)*(1-F32)
```

Коэффициент сепарации газосепаратора

```
=MF_ksep_gasseparator_d(gassep_type;G32;C32)
```

При этом можно менять тип газосепаратора в ячейке H30

Общий коэффициент сепарации

```
=MF_ksep_total_d(E32;H32)
```



Рис. 1.13 — Результаты расчета естественной и искусственной сепарации

Вопросы к упражнению

1. От каких параметров будет зависеть коэффициент сепарации?
2. Как взаимосвязана естественная и искусственная сепарация?

## 1.9. Анализ работы ЭЦН

Сегодня доминирующая доля нефти в РФ добывается при помощи ЭЦН. Требуется детальное понимание основных особенностях эксплуатации данного



оборудования, режимах работы, возможных осложнениях по причине высокой вязкости продукции, газосодержания, механических примесей и т.д.

Наиболее ценную информацию о работе насоса может дать его характеристика: зависимость параметров работы ЭЦН - напора, потребляемой мощности, перепада давления, КПД, от подачи (дебита скважины)

Для анализа работы скважины, оснащенной УЭЦН, требуются следующие исходные данные

1. Физико - химические свойства флюида
2. Данные по скважине
3. Данные по ЭЦН
4. Параметры пласта

PVT свойства задаются аналогично предыдущим упражнениям, а для параметров, характеризующих скважину, приняты следующие обозначения

$H_{mes}$  - глубина скважины измеренная (вдоль ствола скважины), м

$H_{mes} - H_{vert}$  - удлинение ствола скважины, м

$H_{pump}$  - глубина спуска насоса, м

$ID_{cas}$  - внутренний диаметр обсадной колонны, мм

$OD_{tub}$  - внешний диаметр НКТ, мм

$ID_{tub}$  - внутренний диаметр НКТ, мм

$D_{intake}$  - диаметр приемной сетки ЭЦН, мм

$P_{buf}$  - буферное давление, атм

$P_{intake}$  - давление на приеме ЭЦН, атм

$T_{intake}$  - температура на приеме ЭЦН, С

$P_{dis}$  - давление на выкиде ЭЦН, атм

$P_{wf}$  - давление на забое, атм

$Q_{liq}$  - дебит жидкости в поверхностных условиях, м<sup>3</sup>/сут

$f_w$  - обводненность в поверхностных условиях, %

Параметры, описывающие ЭЦН:

ЭЦН  $Q_{nom}$  - номинальная подача ЭЦН, м<sup>3</sup>/сут

ЭЦН  $H_{nom}$  - номинальная напор ЭЦН, м

$F$  - частота питающего тока двигателя, Гц

ЭЦН  $ID$  - идентификационный номер насоса (по формуле, см. ниже), находящийся в базе Unifloc 7.16 VBA

ЭЦН имя - обозначение насоса: название, габарит и номинальная подача (по формуле, см. ниже)

1	Упражнения по работе с макросами Unifloc VBA				версия	7.7
2	Анализ работы ЭЦН					
3						
4						
5						
6	Физико - химические свойства флюида					
7	$\gamma_o$	0.87		870	кг/м <sup>3</sup>	
8	$\gamma_w$	1		1000	кг/м <sup>3</sup>	
9	$\gamma_g$	0.8		0.976	кг/м <sup>3</sup>	
10	$R_{ob}$	80	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	92	м <sup>3</sup> /т	
11	$R_p$	80	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	92	м <sup>3</sup> /т	
12	$P_{o\,cal}$	120	атма	122	МПа	
13	$T_{res}$	100	С	212	Ф	
14	$B_{ob\,cal}$	1.2	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>			
15	$\mu_{ob\,cal}$	20	сП			
16						
17	Данные по скважине					
18	$H_{inss}$	2000	м			
19	$H_{inss}-H_{out}$	0	м			
20	$H_{pump}$	1500	м			
21	$ID_{cda}$	125	мм			
22	$OD_{sub}$	73	мм			
23	$ID_{sub}$	62	мм			
24	$D_{intake}$	100	мм			
25	$P_{out}$	20	атм			
26	$P_{intake}$	34	атм			
27	$T_{intake}$	80	С			
28	$P_{dis}$	150	атм			
29	$P_{ref}$	70	атм			
30	$Q_{liq}$	50	м3/сут			
31	$f_w$	0	%			

Дополнительные вопросы по упражнению (направления исследований)

1. Какие параметры влияют на перепад давления в насосе?

Рис. 1.14 — Исходные данные для свойств флюида и параметров скважины

ЭЦН  $Q_{max}$  - максимальная производительность насоса (по формуле, см. ниже), м3/сут

Ступени - количество ступеней, исходя из общего напора ЭЦН и напора одной ступени (по формуле, см. ниже), шт

$K_{sep}$  - коэффициент сепарации газосепаратора, %

$P_{sep}$  - давление сепарации, атм

$T_{sep}$  - температура сепарации, С

Данные о пласте:

$P_{res}$  - пластовое давление, атм

$PI$  - коэффициент продуктивности скважины (по формуле, см. выше в упражнении IPR), м3/сут/атм

$\frac{dT}{dL}$  - геотермический градиент, град / 100 м

Для получения идентификационного номера насоса в базе Unifloc 7.16 VBA была использована формула

=ESP\_id\_by\_rate(Q\_ESP\_)

Для определения обозначения ЭЦН

=ESP\_name(C37)

Расчет максимально возможного дебита

[illegible]

Рис. 1.15 — Исходные данные для ЭЦН и пласта

```
=esp_max_rate_m3day(Freq_ ; PumpID_ ) *1
```

Количество ступеней

```
=UEJIOE(Head ESP /ESP head m(Q ESP ;1;;PumpID ))
```

Также для удобства использования параметры насоса: ID, напор и рабочая частота, зашифровываются в строку с помощью функции

```
=ESP_Encode_string(PumpID ;Head ESP ;Freq )
```

Свободный газ негативно влияет на работу ЭЦН. В ячейке D51 вычисляется объемная доля газа на приеме газосепаратора с помощью формулы

```
=MF_gas_fraction d(Pintake ;Tintake ;fw ;PVTstr)
```

В соседней ячейке D50 для удобного расположения задается вязкость в сПу-  
аз

Построение напорной характеристики данного насоса выполняется с учетом вязкости перекачиваемой продукции. Реализованный метод пересчета характеристики с воды на вязкую жидкость Института Гидравлики позволяет учитывать изменение рабочих параметров из-за данного негативного влияния.

Для вычисления напора в метрах водного столба в ячейке D54 воспользуйтесь формулой

```
=ESP head m(C54;NumStage ;Freq ;PumpID ;mu)
```

КПД ЭЦН в долях единиц

```
=ESP eff fr(C54;NumStage ;Freq ;PumpID ;mu)
```

### Потребляемую ЭЦН мощность в Вт

```
=ESP Power W(C54;NumStage ;Freq ;PumpID ;mu)
```

50

Упражнение

Вязкость

1

сП

51

Характеристика насоса

Доля газа

0.45

52

53

54

55

56

57

58

59

60

61

62

63

64

65

66

67

68

69

70

71

72

73

74

75

76

77

78

79

80

81

82

83

84

85

86

87

88

89

90

91

92

93

					Снизу вверх			Сверху вниз		
	Дебит	Напор, м	КПД, д. е.	Мощность, кВт	Перепад давления	Перепад температур	Давление на выходе	Перепад давления	Перепад температур	Давление на входе
	1	2178	0.01	34489	96.91	219.00	130.91	132.04	0.00	17.96
	12	2155	0.07	35543	139.57	84.93	173.57	131.45	0.00	18.55
	23	2153	0.15	36837	144.95	41.36	178.95	131.75	0.00	18.25
	35	2165	0.22	38178	147.71	26.08	181.71	131.75	0.00	18.25
	46	2178	0.29	39502	148.80	18.25	182.80	130.71	0.00	19.29
	58	2186	0.35	40780	147.51	13.54	181.51	128.57	0.00	21.43
	69	2182	0.41	42008	142.96	10.54	176.96	125.52	0.00	24.48
	81	2159	0.46	43202	134.00	8.66	168.00	121.69	0.00	28.31
	92	2115	0.50	44388	118.68	7.66	152.68	117.11	0.00	32.89
	104	2047	0.53	45598	91.03	7.51	125.03	111.73	0.00	38.27
	115	1953	0.54	46862	0.14	1.26	34.14	105.41	0.00	44.59
	127	1834	0.54	48197	0.00	0.00	34.00	97.94	0.00	52.06
	138	1690	0.53	49608	0.00	0.00	34.00	88.93	0.00	61.07
	150	1523	0.50	51071	0.00	0.00	34.00	77.66	0.00	72.34
	161	1335	0.46	52534	0.00	0.00	34.00	62.44	0.00	87.56
	173	1131	0.41	53906	0.00	0.00	34.00	43.04	0.00	106.96
	184	915	0.34	55050	0.00	0.00	34.00	23.51	0.00	126.49
	196	690	0.27	55775	0.00	0.00	34.00	4.56	0.00	145.44
	207	462	0.19	55834	0.00	0.00	34.00	0.00	0.00	150.00
	219	237	0.10	54908	0.00	0.00	34.00	0.00	0.00	150.00
	230	21	0.01	52608	0.00	0.00	34.00	0.00	0.00	150.00

Характеристика ЭЦН

Напор номинальный, м

Дебит, м3/сут

Мощность кВт

— Напор, м — Мощность, кВт

Характеристика ЭЦН

Напор номинальный, м

Дебит, м3/сут

КПД, д. е.

— Напор, м — КПД, д. е.

Рис. 1.16 — Напорные характеристики ЭЦН с поправкой на вязкость

Расчет перепада давления, развиваемого насосом, может происходить методом "сверху-вниз" и "снизу-вверх", при этом расчет перепада температур только методом "снизу-вверх". Функция расчета перепада давления и температуры возвращает массив значений, т.е. одновременно перепад давления и температуры. Кроме того, входным параметром для данной функции является направление расчета. Для вычисления выделите диапазон G54:H54, наберите формулу

```

=ESP_dP_atm(C54; fw_; Pintake_; NumStage_; Freq_; PumpID_;
PVTstr; Tintake ; 0)

```

и после нажмите сочетание клавиш Ctrl+Shift+Enter. Далее протяните результат до полного заполнения двух столбцов.

Зная давление на приеме и перепад давления в ЭЦН, давление на выходе ЭЦН можно легко посчитать по формуле

=G54+Pintake

Предварительно задав давление на выходе ЭЦН в ячейке L51 возможно посчитать перепад давления методом "сверху-вниз" аналогичным образом по формуле

```
=ESP_dP_atm(C54; fw_; Pdis_; NumStage_; Freq_; PumpID_; PVTstr;  
Tintake_; Tintake_; 0)
```

И давление на входе, зная давление на выходе и перепад давления

```
=Pdis-J54
```

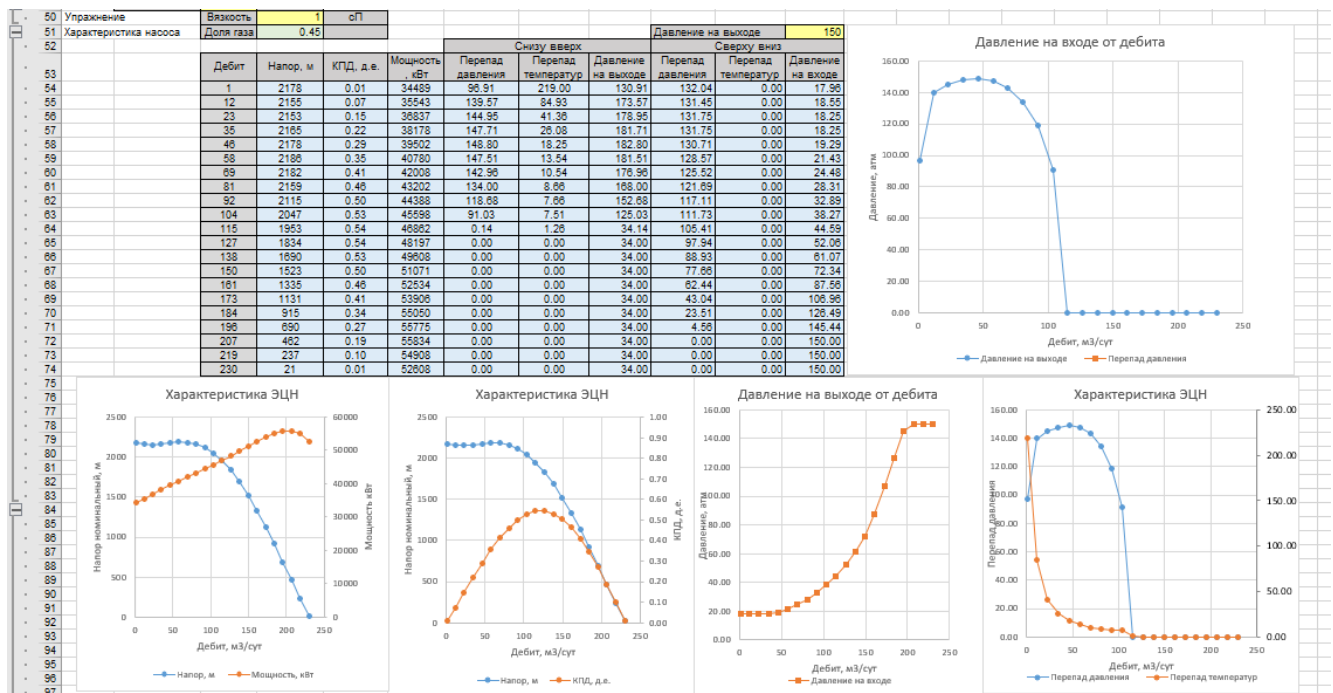


Рис. 1.17 — Расчет перепада давления и температур в ЭЦН в зависимости от дебита

Вопросы для упражнения:

1. Какие параметры влияют на перепад давления в насосе?
2. Насколько сильно влияет вязкость на напорные характеристики ЭЦН?
3. Как влияет на работу ЭЦН изменение частоты?

## 1.10. Анализ работы ПЭД

Упражнение показывает характеристики погружного асинхронного электрического двигателя, применяемого в УЭЦН.

Также стоит отметить, что расчетные функции предназначаются для образовательных целей. Детального сопоставления расчетных характеристик с фактическими не проводилось. (06.2019)

Для выполнения упражнения необходимо задать параметры электродвигателя

$U_{nom}$  - номинальное напряжение ПЭД, В

$F_{nom}$  - номинальная частота тока, Гц

$I_{nom}$  - номинальная сила тока, А

$ID$  - способ инициализации данных двигателя. 1 - по фактическим значениям параметров (по паспорту), 2 - по схеме замещения Гридина

А также рабочее напряжение  $U$ , В и рабочую частоту тока  $F$ , Гц

После этого в ячейке C10 будет произведен расчет номинальной мощности ПЭД с помощью функции

=Motor\_Pnom\_kW (Unom; Inom; Fnom; ID)

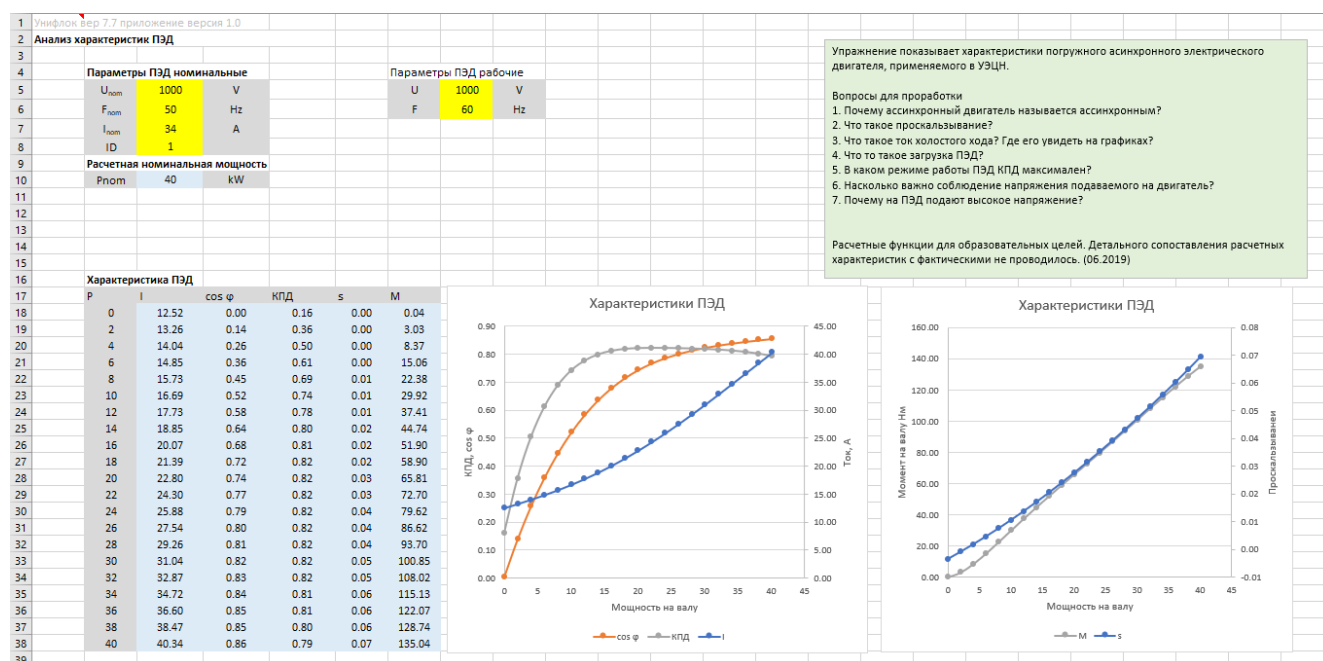


Рис. 1.18 — Исходные данные ПЭД и различные характеристики в зависимости от мощности на валу

Для построения характеристики ПЭД (параметры двигателя от мощности на валу  $M$ ) воспользуйтесь следующими формулами

Определение тока двигателя  $I$ , А

=motor\_I\_A (B18; F; U; Unom; Inom; Fnom; ID)

Расчет  $\cos \varphi$

=motor\_CosPhi\_d(B18;F;U;Unom;Inom;Fnom;ID)

КПД, д.ед.

=motor\_Eff\_d(B18;F;U;Unom;Inom;Fnom;ID)

Проскальзывание  $S$

=motor\_S\_d(B18;F;U;Unom;Inom;Fnom;ID)

Момент на валу  $M$ , Н\*м

=motor\_M\_Nm(B18;F;U;Unom;Inom;Fnom;ID)

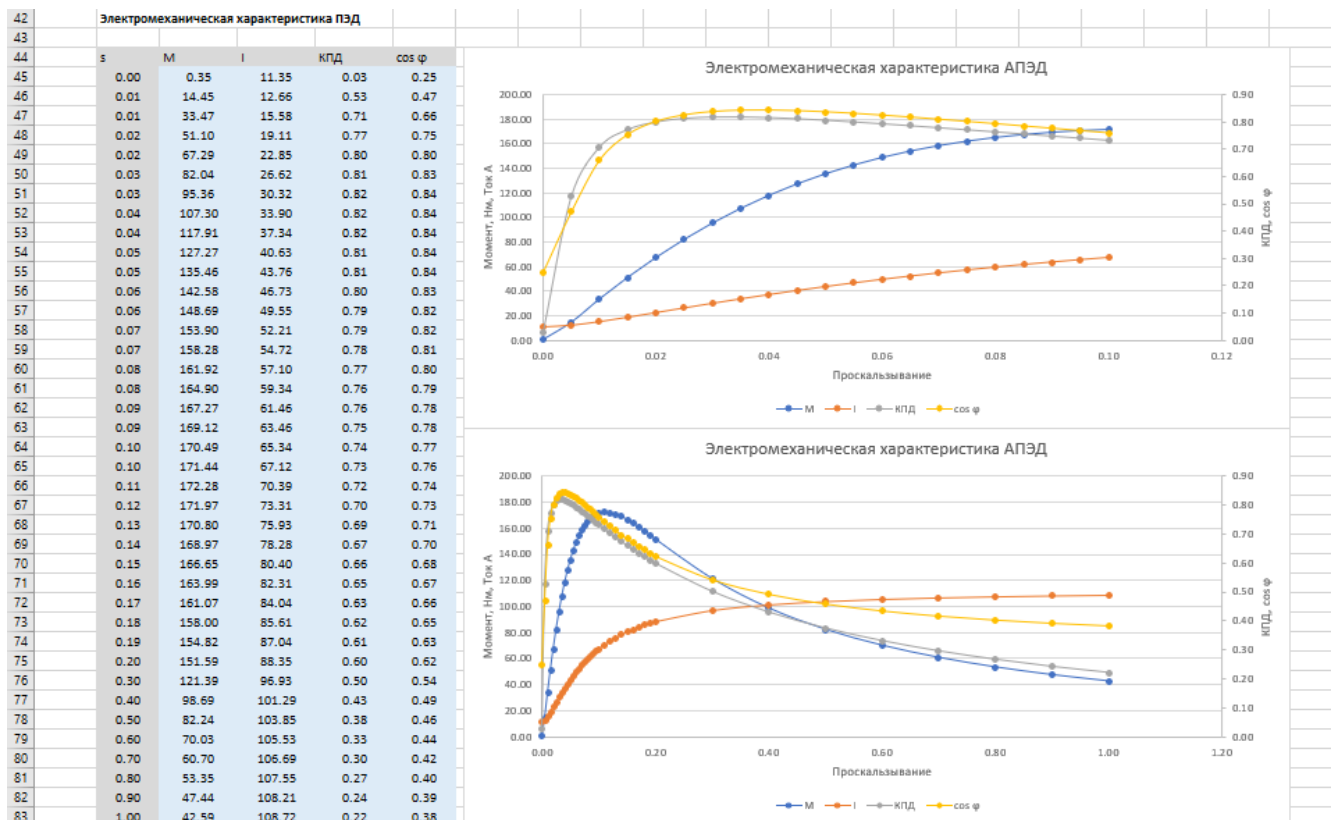


Рис. 1.19 — Электромеханическая характеристика АПЭД

Для расчета электромеханической характеристики АПЭД (параметры двигателя в зависимости от проскальзывания  $S$ ) используйте формулы

Момент на валу  $M$ , Н\*м

=motor\_M\_slip\_Nm(B45;F;U;Unom;Inom;Fnom;0)

Сила тока  $I$ , А

=motor\_I\_slip\_A(B45;F;U;Unom;Inom;Fnom;0)

КПД, д.ед.

=motor\_Eff\_slip(B45;F;U;Unom;Inom;Fnom;0)

Расчет  $\cos \varphi$

=motor\_CosPhi\_slip(B45;F;U;Unom;Inom;Fnom;0)

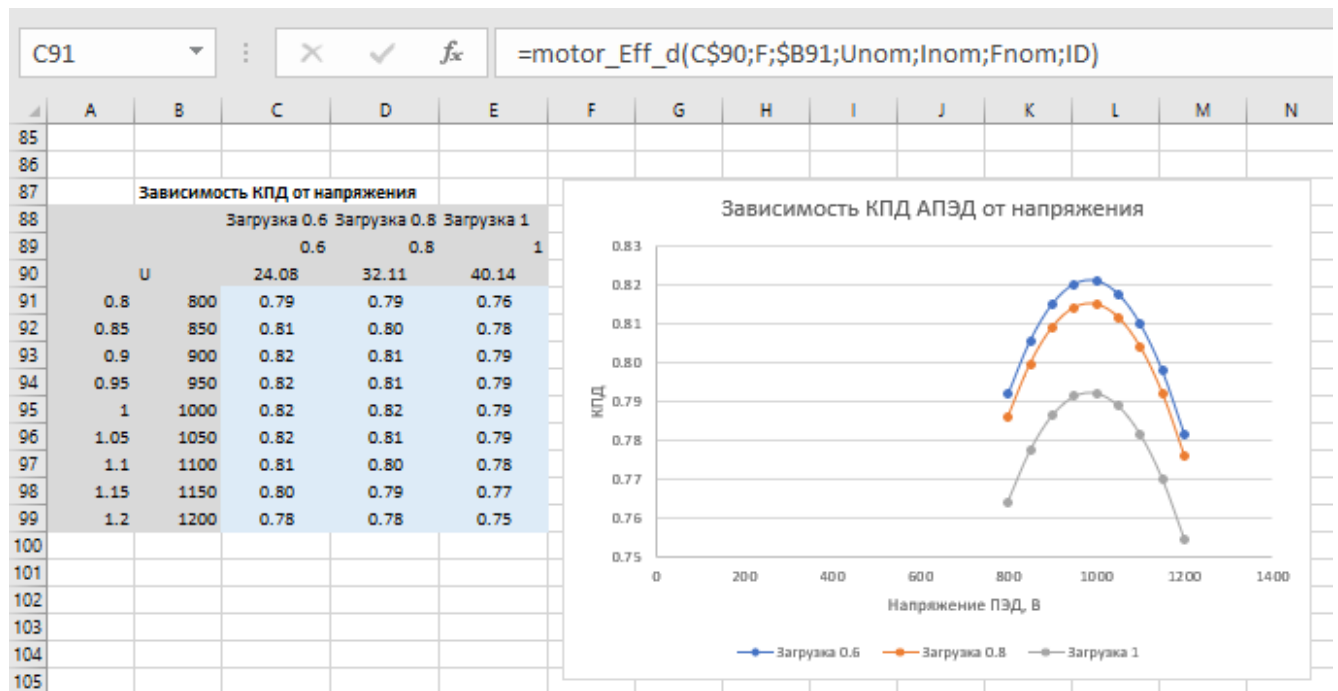


Рис. 1.20 — Зависимость КПД АПЭД от напряжения и загрузки

Для проведения исследований по напряжению ПЭД воспользуйтесь следующими формулами для значений загрузки двигателя 0.6, 0.8, 1

=motor\_Eff\_d(C\$90;F;\$B91;Unom;Inom;Fnom;ID)

=motor\_Eff\_d(D\$90;F;\$B91;Unom;Inom;Fnom;ID)

=motor\_Eff\_d(E\$90;F;\$B91;Unom;Inom;Fnom;ID)

в ячейках C91, E91, D91 соответственно. "Протянув" значения Вы можете заполнить таблицу.

Вопросы для упражнения:

1. Почему асинхронный двигатель называется асинхронным?
2. Что такое проскальзывание?
3. Что такое ток холостого хода? Где его увидеть на графиках?
4. Что то такое загрузка ПЭД?
5. В каком режиме работы ПЭД КПД максимален?
6. Насколько важно соблюдение напряжения подаваемого на двигатель?
7. Почему на ПЭД подают высокое напряжение?



### 1.11. Анализ работы фонтанирующей скважины

При достаточном количестве естественной энергии скважина может фонтанировать. Инженерные расчеты требуются как для оптимизации работы самого подъемника, так и системы "скважина-пласт".

Для упражнения требуется задать PVT свойства флюидов, конструкцию скважины, свойства пласта и текущий режим работы скважины (дебит). Все исходные данные заполняются аналогично предыдущим упражнениям за исключением функции, объединяющей все данные о скважине в одну строку, расположенной в ячейке G23

```
=well encode string(Hmes ;Htube ;Udl ;Dcas ;Dtub ;0;;Twf ;Tbuf )
```

[illegible]

Рис. 1.21 — Исходные данные для расчета фонтанирующей скважины

В первой части задания требуется построить распределение давления в скважине методом сверху-вниз и снизу-вверх, задавая при этом граничные условия - давление на устье и на забое соответственно. Для расчета воспользуйтесь в ячейке E50 функцией

```
=MF p pipe atma(Qtest ; fw ;C49; C50;E49;PVRstr1 ; theta ;Dtub ;;D49
```

”протянув” ее на весь столбец. Расчет снизу-вверх выполните аналогичным образом. Обратите внимание, что при правильных расчетах КРД должны совпадать - решение не должно зависеть от направления.

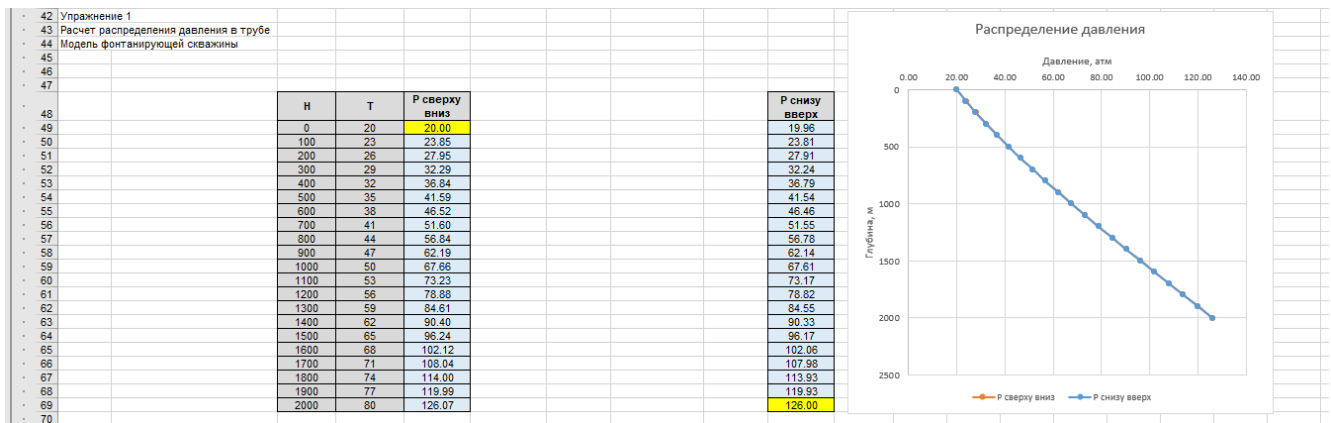


Рис. 1.22 — Расчет КРД в фонтанирующей скважине

Во второй части упражнения необходимо построить кривую притока (индикаторную кривую, по Вогелю) и кривую оттока (зависимость давления в начале подъемной трубы от дебита при неизменном давлении на выходе). Забойное давление принимается равным рассчитанному из предыдущей части упражнения. Максимальный дебит скважины и коэффициент продуктивности можно варьировать вместе с обводненностью продукции скважины для анализа добывающей системы. Точка пересечения кривых притока и оттока будет являться рабочей точкой системы ”пласт-скважина”.

Для вычисления забойного давления для индикаторной кривой воспользуйтесь в ячейке *F78* уже знакомой Вам функцией

```
=IPR_Pwf_atma(PI_1;Pres_;E78;fw_;Pb_)
```

Расчет забойного давления по устьевому в ячейке *G78* примените функцию

```
=well_pwf_plin_atma(E78;fw_;Pbuf_; Pcas_; Wellstr1_; PVRstr1_;  
;1;1;1;1;1;1)
```

Для другой величины обводненности продукции в *H78* при анализе дальнейшей работы

```
=well_pwf_plin_atma(E78;fw_2;Pbuf_; Pcas_; Wellstr1_; PVRstr1_;  
;1;1;1;1;1;1)
```

Заполнив таблицу до конца Вы получите следующий результат

Для анализа влияния ГФ скважины на забойное давление воспользуйтесь теми же самыми функциями, за исключением того, что каждый раз будет меняться PVT строка свойств флюидов

В ячейке *H108*

```
=well_pwf_plin_atma(Qtest_;fw_;Pbuf_;Pcas_;Wellstr1_;G108;;1;1;1;1;1;1)
```

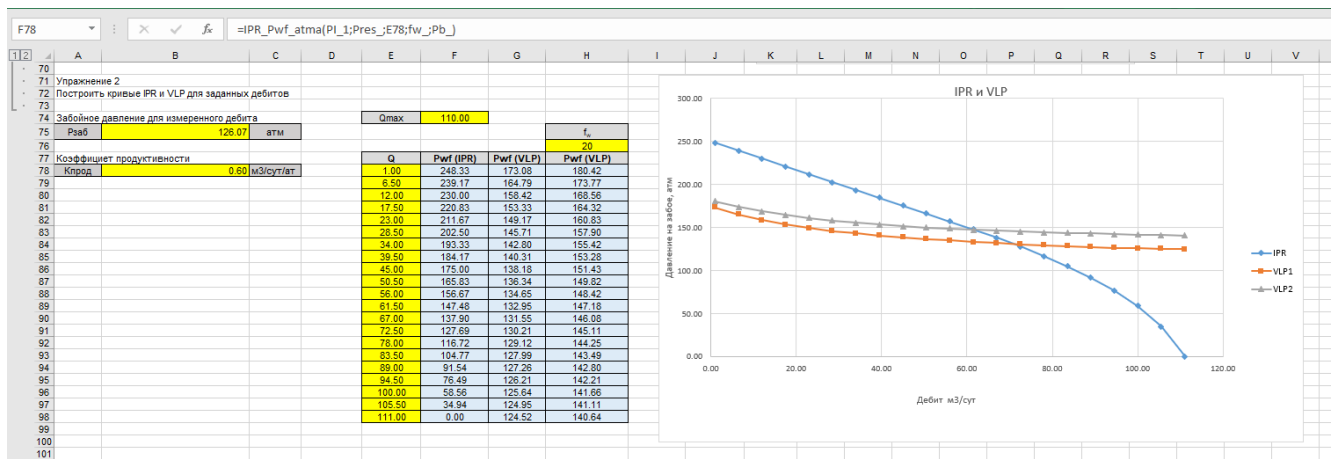


Рис. 1.23 — Кривые оттока и притока для узлового анализа работы фонтанирующей скважины

В ячейке I108

`=well_pwf_plin_atma(Qtest_;fw_3;Pbuf_;Pcas_;Wellstr1_;G108;;1;;;;;1)`

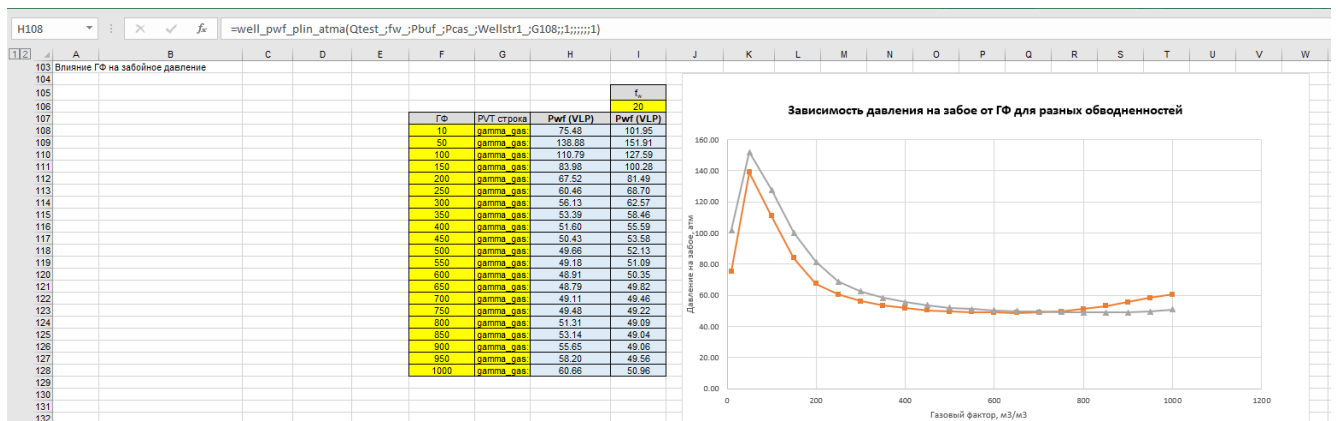


Рис. 1.24 — Влияние газового фактора и обводненности на забойное давление

Теперь Вы можете ответить на вопросы:

Вопросы для проработки

1. Постройте распределение давления методом сверху-вниз и снизу-вверх. При каком условии эти кривые совпадут?
2. С помощью кривых притока (IPR) и оттока (VLP) определите рабочую точку системы "скважина-пласт". От чего зависит ее положение?
3. Как газовый фактор влияет на кривую оттока?

## 1.12. Анализ работы скважины, оснащенной УЭЦН

По сравнению с моделью фонтанирующей скважины в данный расчет добавляются такие важные элементы, как сепарация на приеме погружного оборудования и напорная характеристика ЭЦН. К стандартным исходным данным добавляется вторая PVT строка (G45) для разделения упражнения на 2 части.

```
=PVT_encode_string(gamma_gas_; gamma_oil_; ; Rsb_; Rp_; Pb_;  
Tres_; Bob_; mu_;; KsepGasSep_; PKsep2; TKsep2)
```

Стоит сразу отметить важность определения давления и температуры, при которой происходит сепарация газа в затрубное пространство. При неизвестном давлении на приеме погружного оборудования (давлении сепарации) требуется определить его с помощью гидравлической корреляции, например, при расчете снизу-вверх от забойного давления. Однако расчет перепада давления в трубе зависит от PVT свойств, в том числе давления сепарации - поэтому требуется итеративный подход для изменения давления сепарации до тех пор, пока оно не окажется стабильным (и равным давлению на приеме погружного оборудования по гидравлической корреляции). Т.к. при сепарации происходит модификация флюида, пренебрежение согласованностью приведет к неправильному расчету - поток может быть дегазированным на забое или наоборот с высокой долей газа в насосе или НКТ. Изменять давление сепарации  $P_{sep}$  можно в ячейке C43

В первой части упражнения предлагается построить распределение давления в скважине с постоянным дебитом.

Кривую давления от забоя до приема можно получить с помощью функции

```
=MF_p_pipe_atma(Q_;fw_;C83;C82; F83;PVT_str_; theta_; Dtub_;;  
D83;D82)
```

”протянув” ее до глубины спуска оборудования. С учетом сепарации, которая подробно описывалась выше, требуется изменять значение давления сепарации  $P_{sep}$  в исходных данных (C43) пока оно не станет равным расчетному.

Затем в ячейке G78 можно определить коэффициент естественной сепарации

```
=MF_ksep_natural_d(Q_; wc_; Pintake_; Tintake_; Dintake_; Dcas_;  
PVT_str_)
```

А в H78 искусственную с помощью

```
=MF_ksep_total_d(G78;KsepGasSep_)
```

<

Рис. 1.25 — Исходные данные для расчета скважины, оснащенной УЭЦН

Распределение давления в НКТ рассчитывается методом сверху-вниз, начиная с ячейки  $K64$

```
=MF_p_pipe_atma(Q_ ;fw_ ;C63;C64;K63;PVT_str_ ;theta_ ;Dintake_ ;;D63;D64
```

Таким образом можно получить перепад давления в насосе не прибегая к расчету самого насоса - он будет равен разнице между давлением в нижней точке НКТ и на приеме погружного оборудования (ячейка  $N78$ ). Но по напорной характеристике с помощью функции в  $M78$

```

=ESP_dP_atm(Q_; fw_;Pintake_; NumStage_;Freq_; PumpID_; PVT_str_;Tin
0;1;;D60)

```

также можно получить данное значение, воспользовавшись коэффициентом деградации напорной характеристики ЭЦН в  $D60$  для адаптации модели. При совпадении результатов двух независимых расчетов возможно оценить состояние погружного оборудования.

Полезным для анализа работы добывающей системы будет знание о доли газа в потоке как до приема погружного оборудования (начиная с ячейки 183)

```
=MF_gas_fraction d(F83;D83;fw ;PVT_str )
```

так и после сепарации в НКТ (с  $J78$ )

```
=MF_gas_fraction_d(K78;D78;fw_;PVT_str_)
```

На этом первая часть упражнения завершается.

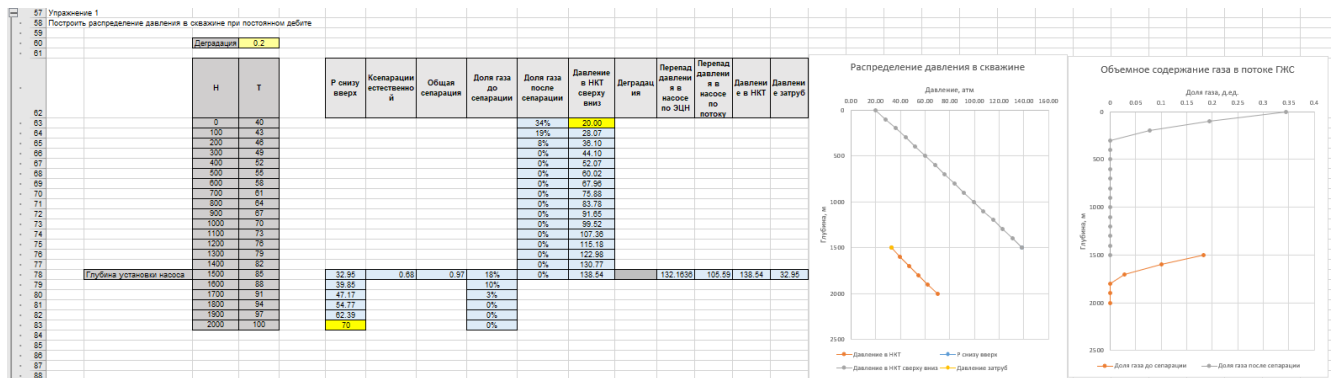


Рис. 1.26 — Распределение давления в скважине с постоянным дебитом

Во второй части упражнения распределение давления скважины строится с учетом того, что она имеет постоянную продуктивность. Изменение забойного давления в ячейке  $D92$  приведет к изменению дебита скважины. Также могут варьироваться давление сепарации, коэффициент деградации и частота ЭЦН для настройки модели.

Сам расчет ведется только методом снизу-вверх: по забойному давлению определяется давление на приеме, затем вместе с коэффициентом сепарации рассчитывается перепад давления в насосе по напорной характеристике, а после устьевое давление по давлению на выходе насоса, начиная с ячейки  $K114$  с помощью функции

$$=MF\_p\_pipe\_atma(Qreal\_; fw\_; C115; C114; K115; PVT\_str\_2; theta\_; Dintake\_; D115; D114)$$

При этом PVT строка будет использоваться другая из-за отличных значений давления на приеме по сравнению с первой частью упражнения.

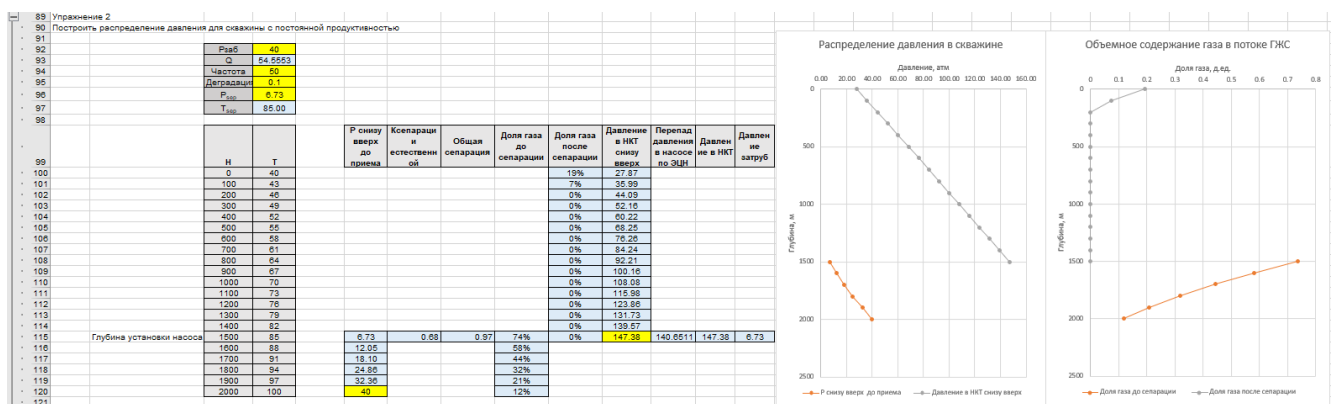


Рис. 1.27 — Распределение давления в скважине с постоянной продуктивностью

С помощью дополнительных исследований (при необходимости) ответьте на вопросы

1. Как влияет сепарация, естественная и искусственная, на работу скважины?
2. Что позволяет учесть коэффициент деградации напорной характеристики ЭЦН?
3. Какое минимальное забойное давление можно считать оптимальным?

### **1.13. Анализ работы скважины, оснащенной ЭЦН, фонтанирующей через затрубное пространство**

#### **Общая теория**

При спуске погружного оборудования в фонтанирующую скважину с большим газовым фактором газожидкостный поток у приема может разделяться на 2 составляющие: поток с низким газосодержанием после сепарации естественной и искусственной в НКТ и поток с большой долей свободного газа в затрубное пространство.

При этом ЭЦН за счет энергии движения ГЖС работает практически на холостом ходу, развивая обычный перепад давления по напорной характеристике. Также при дебите большем, чем максимально возможный перепад давления насоса, может происходить турбинное вращение, насос будет работать как гидравлическое сопротивление. Перегрев электродвигателя не происходит, т.к. он непрерывно охлаждается общим газожидкостным потоком.

В затрубном пространстве за счет большого количества газа будет происходить фонтанирование. Давление в затрубном пространстве будет большим, чем буферное, потому как обратный клапан в затрубе, предназначенный для сброса газа, с жидкостью будет функционировать как штуцер, дросселируя давление. Без обратного клапана можно сделать логичное предположение о том, что давления будут равными - газлифтный эффект в затрубном пространстве (подъем газожидкостной смеси за счет снижения плотности) будет равен перепаду давления, который создает ЭЦН.

Отсюда возникает вопрос, рационально ли устанавливать ЭЦН в фонтанирующую скважину с большим газовым фактором?

В данном упражнении предлагается смоделировать данный процесс. Но Вы также можете просмотреть расширенный расчет реальной скважины в папке "app".

1	Упражнения по работе с макросами UnitOps VBA	версия	7.7
2	Расчет распределения давления в скважине с ЗЦН, в которой происходит фонтанирование через затрубное пространство		
3			
4			
5			
6	Физико-химические свойства флюида		
7	$\gamma_g$	0.87	870 кг/м³
8	$\gamma_o$	1	1000 кг/м³
9	$\gamma_w$	0.8	0.976 кг/м³
10	$R_{so}$	200	м³/м³
11	$R_{so}$	200	м³/м³
12	$P_{res}$	130	атм
13	$T_{res}$	100	°C
14	$B_{res}$	1.2	м³/м³
15	$\mu_{res}$	5	сПуаз
16			
17	Данные по скважине		
18	$H_{tot}$	2000	м
19	$H_{nkt}$	0	м
20	$H_{ann}$	1500	м
21	$ID_{in}$	125	мм
22	$OD_{in}$	73	мм
23	$\theta$	90	°
24	$ID_{ann}$	63	мм
25	$OD_{ann}$	100	мм
26	$P_{in}$	10	атм
27	$P_{res}$	38.5	атм
28	$T_{res}$	85	°C
29	$P_{so}$	150	атм
30	$Q_{total}$	100	м³/сут
31	$P_{so}$	75	атм
32	$Q_{so}$	60	м³/сут
33	$f_w$	0	%
34	$Q_{annular}$	40	м³/сут
35	$d_{annular}$	52.0	мм
36			
37	ЗЦН		
38	ЗЦН $Q_{ann}$	100	м³/сут
39	ЗЦН $H_{ann}$	2000	м
40	$F$	50	ГПа
41	ЗЦН ID	737	
42	ЗЦН ID	814	
43	ЗЦН $Q_{ann}$	230	
44	Ступени	312	шт
45	$P_{res}$	90%	
46	$P_{res}$	38.50	атм
47	$T_{res}$	85.00	°C
48			
49	Плот		
50	$P_{res}$	250	атм
51	$\mu$	0.38	сПуаз/атм
52	$d_{TDL}$	3	град/100 м

Общая теория

При спуске погружного оборудования в фонтанирующую скважину газожидкостный поток у приема разделяется на 2 составляющие: поток с низким газосодержанием после сепарации естественной и искусственной в НКТ и поток с большой долей свободного газа в затрубном пространстве.

При этом ЗЦН за счет энергии движения ГЖС работает практически на колесном ходу, развивая обычный перепад давления по напорной характеристике. Также при дебите больше, чем максимально возможный перепад давления, насоса, может происходить турбинное вращение, насос будет работать как гидравлическое сопротивление. Перегрев электродвигателя не происходит, т.к. он непрерывно охлаждается общим газожидкостным потоком.

В затрубном пространстве за счет большого количества газа будет происходить фонтанирование. Давление в затрубном пространстве будет больше, чем буферное, потому как обратный клапан в затрубе, предназначенный для сброса газа, с жидкостью будет функционировать как штуцер, дросселируя давление. Без обратного клапана можно сделать логичное предположение о том, что давление будет равным - газифицированный эффект в затрубном пространстве (потоком газожидкостной смеси за счет снижения плотности) будет равен перепаду давления, который создает ЗЦН.

Отсюда возникает вопрос, рационально ли устанавливать ЗЦН в фонтанирующую скважину с большим газовым фактором?

Вопросы по упражнению

1. Какова доля жидкости идет в насос и НКТ, а какая в затрубное пространство?
2. Постройте КВД на пути движения жидкости. На каком пути движения ГЖС градиент давления больше?
3. Оцените долю газа в разных точках системы? Где самое высокое значение?

P.5. Помимо данного упражнения Вы можете просмотреть расширенный расчет реальной скважины в папке "app"

PVT строка в насосе и НКТ

$\gamma_{gas}=0.800; \gamma_{oil}=0.870; \gamma_{wat}=1.000; \rho_{rb}=m3m3; 200.000; \rho_{pb}=m3m3; 200.000; \rho_{b}=m3m3; 1.200; \mu_{ob}=cP; 5.000; PVT_{corr}=0.999; fr=0.000; p_{ksep\_atma}=38.800; k_{sep\_C}=85.000;$

ЗЦН строка

$q_{Hz}=50.00000; ESP\_U\_V=1000.00000; MotorPowerNom\_kW=30.00000; Tintake\_C=85.00000; Tdis\_C=85.00000; KsepGS\_fr=0.00000; ESP\_energy\_fact\_Whday=0.00000; ESP\_cable\_type=0; ESP\_Hmes\_m=0.00000; GasDegType=0; Kdegr=0.000;$

PVT строка в затрубное пространство

$\gamma_{gas}=0.800; \gamma_{oil}=0.870; \gamma_{wat}=1.000; \rho_{rb}=m3m3; 200.000; \rho_{pb}=m3m3; 200.000; \rho_{b}=m3m3; 1.200; \mu_{ob}=cP; 5.000; PVT_{corr}=0.999; fr=0.000; p_{ksep\_atma}=1.000; k_{sep\_C}=1.000;$

Рис. 1.28 — Набор исходных данных, для расчета фонтанирования через затрубное пространство

Процесс моделирования добывающей системы осложняется тем, что неизвестны доли жидкости: поступающая в насос и НКТ и поднимающаяся по затрубному пространству. Для этого введем коэффициент деления потока ГЖС, обозначающий долю жидкости, поступающую в насос и НКТ, в ячейке N63. Расчет распределения давления в НКТ и затрубном пространстве будем вести стандартным образом с помощью гидравлических корреляций. Отличия в определении давления будет выражаться в применении двух PVT строк: в ячейке G42 будет флюид, учитывающий сепарацию на приеме погружного оборудования, он будет описывать поведение ГЖС в НКТ, а в ячейке G48 будет флюид без сепарации - весь газ будет оставаться в потоке в затрубном пространстве; с помощью коэффициента деления потока из общего дебита  $Q_{total}$  рассчитывается расход по НКТ  $Q_{liq}$  и по затрубному пространству  $Q_{liqannular}$

К формулам, используемым в предыдущем упражнении, добавляется расчет давления в затрубном пространстве (с Q80)

$=MF\_p\_pipe\_atma(Q\_annular\_; fw\_; C81;C80; Q81; PVT\_str\_annular\_; theta\_; d\_annular\_pr; 1;D81;D80)$



И соответственно доля газа в ГЖС затрубного пространства (с  $J81$ )

```
=MF gas fraction d(Q81; D81; fw ; PVT str annular )
```

Также напомним о важности правильно определения давления сепарации (описано выше).

Таким образом, с помощью КРД в затрубном пространстве и НКТ предлагается найти такие параметры системы (изменяя коэффициент деления потока, коэффициент деградации напорной характеристики насоса и т.д.) при котором давление в затрубном пространстве будет равным или большим, чем буферное давление.

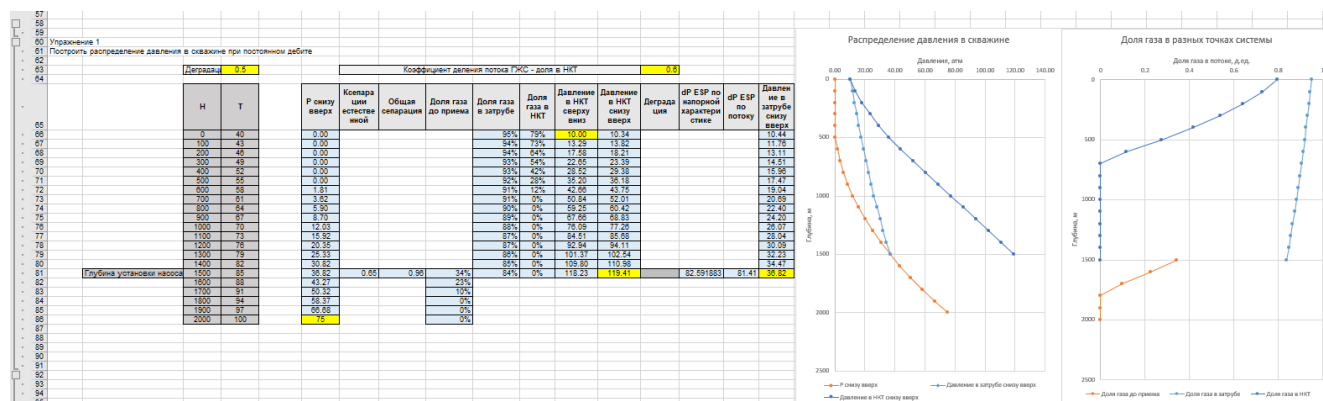


Рис. 1.29 — Настроенная модель скважины с равными давлениями на устье

## Вопросы по упражнению

1. Какая доля жидкости идет в насос и НКТ, а какая в затрубное пространство?
2. Постройте КРД на путях движения жидкости. На каком пути движения ГЖС градиент давления больше?
3. Оцените долю газа в разных точках системы? Где самое высокое значение?
4. Оптимальнее ли будет эксплуатировать скважину с помощью чисто фонтанного способа добычи?

## 1.14. Набор расчетных модулей анализа скважины

Пример использования алгоритмов Unifloc 7.16 VBAприведен в файле UF7 calc well.xlsm.

Файл содержит набор расчетных модулей позволяющих провести анализ данных описывающих работу скважины с применением различных методов добычи.

#### **1.14.1. Расчетный модуль анализа и настройки PVT свойств**

## Словарь терминов

Словарь описывает термины и сокращения широко используемые в описании и в системе Unifloc 7.16 VBA.

**VBA** — Visual Basic for Application язык программирования встроенный в Excel и использованный для написания макросов Unifloc 7.16 VBA.

**VBE** — Среда разработки для языка VBA. Встроена в Excel.

**BHP, Pwf** — Bottom hole pressure. Well flowing pressure. Забойное давление

**BHT, TBH** — Bottom hole temperature. Забойная температура

**WHP, PWH** — Well head pressure. Устьевое давление. Как правило, соответствует буферному давлению.

**WHT, TWH** — Well head temperature. Устьевая температура. Температура флюида на устье скважины. Температура в точке замера буферного давления.

**IPR** — Inflow performance relationship. Индикаторная кривая. Зависимость забойного давления от дебита для пласта. Широко используется в узловом анализе.

**VLP, VFP** — Vertical lift performance, vertical flow performance, outflow curve. Кривая лифта, кривая оттока. Зависимость забойного давления от дебита для скважины. Широко используется в узловом анализе.

**ESP** — Electrical submersible pump. Электрический центробежный насос.

**GL** — Gas Lift. Газлифтный способ эксплуатации добывающих скважин.

**RHX ЭЦН** — Расходно напорная характеристика электрического центробежного насоса. Ключевая характеристика ЭЦН. Дается производителем в каталоге ЭЦН для новых насосов или определяется на стенде для ремонтных ЭЦН.

**PVT** — Pressure Volume Temperature. Общепринятое обозначение для физико-химических свойств пластовых флюидов - нефти, газа и воды.

**MF** — MultiPhase. Много Фазный поток. Префикс для функций имеющих дело с расчетом многофазного потока в трубах и скважине.

**НКТ** — Насосно компрессорная труба. Часть конструкции скважины. по колонне НКТ добывается скважинная продукция или закачивается вода. Может быть заменена в процессе эксплуатации при ремонте скважины.

**ЭК** — Эксплуатационная колонна. Часть конструкции скважины. Не может быть заменена в процессе эксплуатации при ремонте скважины.

**ГЖС** — Газо жидкостная смесь. Часто используется для обозначения совместно двигающихся флюидов в многофазном потоке - нефти, газа, воды.

**Барботаж, ZNLF** — Движение газа через неподвижный столб жидкости. ZNLF - zero net liquid flow. Встречается в скважинах с насосами - в межтрубном пространстве газ движется через неподвижный столб жидкости. Влияет на динамический уровень в скважине.

**ЭЦН** — Электрический центробежный насос.

**УЭЦН** — Установка электрического центробежного насоса. Включает весь комплекс погружного и поверхностного оборудования необходимого для работы насоса - насос (ЭЦН), погружной электрический двигатель (ПЭД), гидрозащита (ГЗ), входной модуль (ВМ) и газосепаратор (ГС), электрический кабель, станция управления (СУ) и другие элементы

**ЧРП** — Частотно регулируемый привод. Элемент УЭЦН обеспечивающий возможность вращения вала УЭЦН с различными частотами.