

## Глава 3. Упражнения по работе с пользовательскими функциями Unifloc 7.7 VBA

Освоить работу с расчетными функциями Unifloc 7.7 VBA можно выполняя упражнения описанные в данном разделе и изучая устройство тестовых расчетных модулей. Упражнения демонстрируют некоторые подходы к использованию Unifloc 7.7 VBA. На основе этих подходов можно создать свои расчетные модули решающие специфические задачи пользователя.

### 3.1 Расчет PVT свойств

Расчет физико химических свойств пластовых флюидов 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.

Цель упражнений по расчету PVT свойств:

- освоить принципы работы с пользовательскими функций Unifloc 7.7 VBA
- изучить влияние исходных PVT данных на результаты расчета PVT свойств
- изучить влияние выбора PVT корреляций на результаты расчета PVT свойств
- изучить механизм калибровки PVT корреляций на результаты измерений

#### 3.1.1 Построение простых PVT зависимостей

Для выполнения упражнения используйте файл "10.PVT.xlsx"

1. Запустите файл с надстройкой Unifloc 7.7 VBA. Для того чтобы убедиться, что надстройка запущена откройте редактор VBE

(Alt+F11). В дереве проектов должен отображаться файл надстройки UniflocVBA\_7.xlam, рис. 3.1.

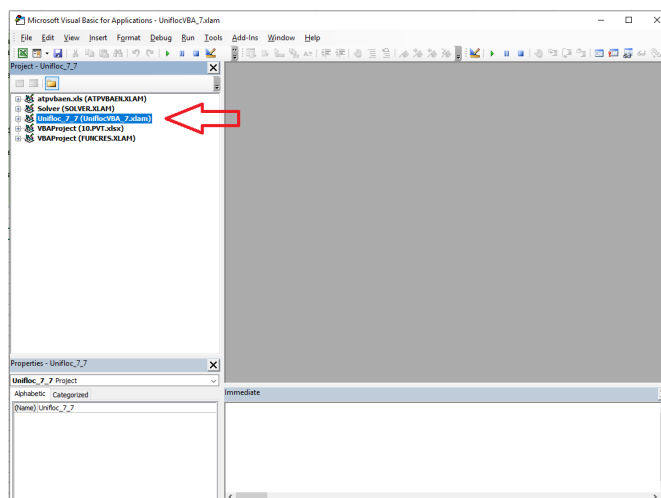


Рис. 3.1 — Окно редактора VBE с загруженной надстройкой Unifloc 7.7 VBA

2. Откройте файл с упражнением 10 . PVT . xlsx (смотри рис. 3.2).

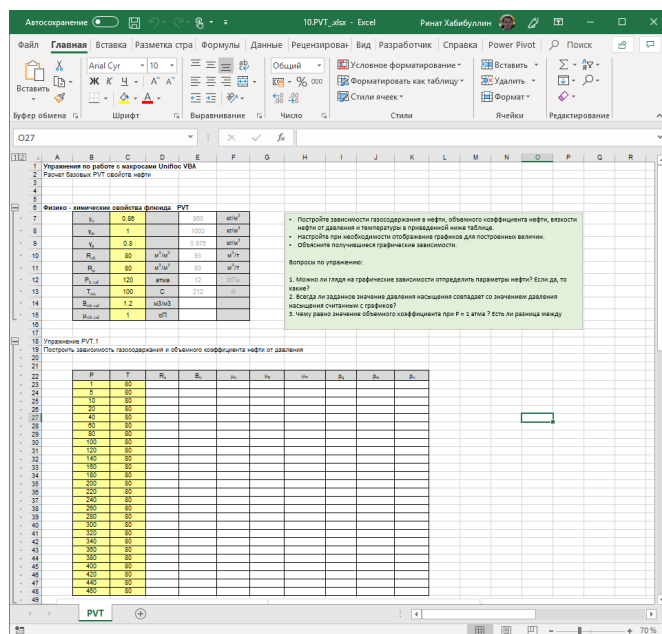


Рис. 3.2 — Открытый файл с упражнением 10 . PVT . xlsx

3. Для расчета первого элемента таблицы в ячейках D23:D48 - газосодержания в нефти при давлении 1 атм и температуре 80 °C - введите в ячейку D23 строку

=PVT\_Rs\_m3m3(B23;C23;gamma\_gas\_;gamma\_oil\_; gamma\_wat\_; Rsb\_; Rp\_; Pb\_; Tres\_; Bob\_; muob\_)

Обратите внимание – 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. 3.3).

В приведенной строке B23;C23 - ссылки на соответствующие ячейки, gamma\_gas; gamma\_oil - также ссылки на ячейки, которые предварительно были поименованы.

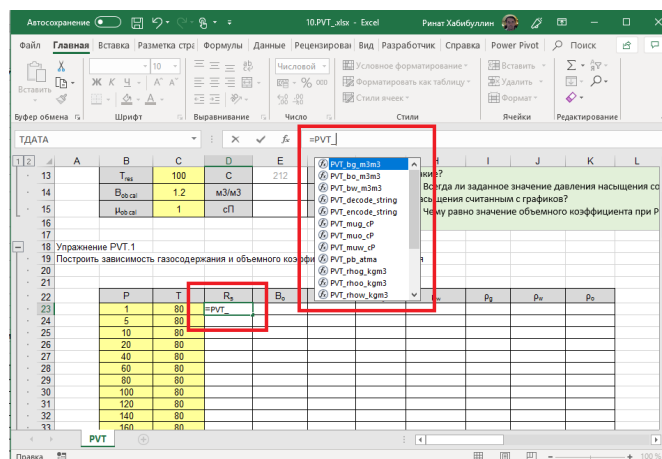


Рис. 3.3 — Выпадающий список с подсказками названий функции

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. В этом окне можно ввести необходимые значения параметров или указать ссылки на соответствующие ячейки.

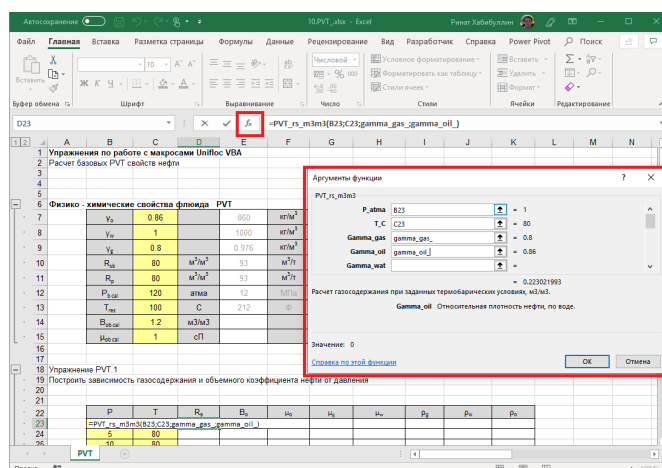


Рис. 3.4 — Окно ввода аргументов функции

4. После ввода всех параметров и нажатия кнопки ОК в ячейке должен отобразиться результат расчета. Воспользовавшись инструментом ”Вли-

яющие ячейки” на вкладке ”Формулы” можно отследить на какие ячейки ссылается введенная формула

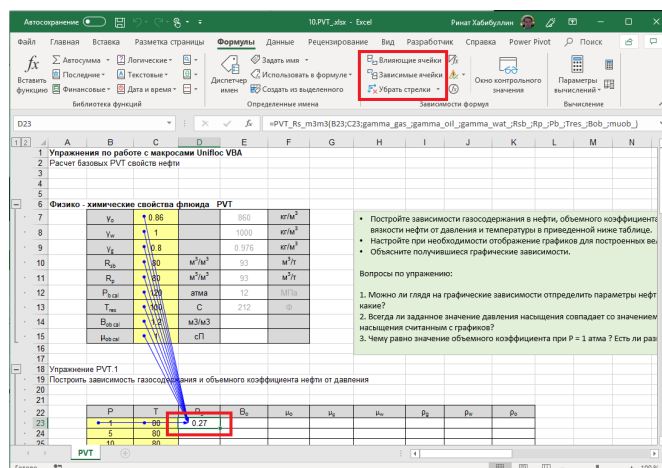


Рис. 3.5 — Результат вызова пользовательской функции с отображение влияющих ячеек

5. Аналогично заполните все ячейки таблицы D23 : D48 вызовами функции =PVT\_Rs\_m3m3 ( ) с соответствующими параметрами. Это можно сделать ”протянув” ранее введенную функцию в ячейке D23.

Обратите внимание, что при ”протягивании” поименованные ячейки оказываются закрепленными, а ссылки на значения давления и температуры съезжают вместе с протягиваемой ячейкой. Результат показан на рисунке

3.6

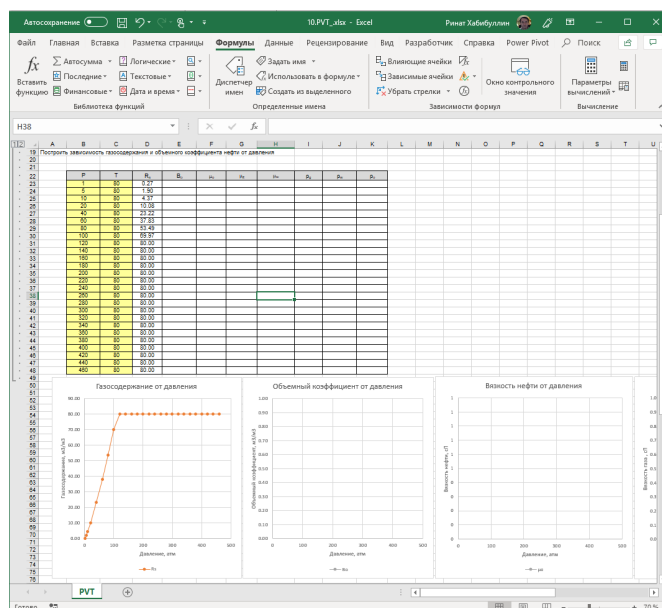


Рис. 3.6 — Результат расчета зависимости газосодержания от давления

6. По аналогии с зависимостью газосодержания от давления постройте графики зависимости других параметров от давления. Используйте следующие функции для проведения расчетов:

**функция расчета объемного коэффициента нефти**

```
=PVT_Bo_m3m3 (B23;C23;gamma_gas_;gamma_oil_;gamma_wat_; Rsb_;  
Rp_; Pb_;Tres_;Bob_;muob_)
```

**функция расчета вязкости нефти при заданных термобарических условиях**

```
=PVT_Muo_cP (B23;C23;gamma_gas_;gamma_oil_;gamma_wat_; Rsb_;  
Rp_; Pb_;Tres_;Bob_;muob_)
```

**функция расчета вязкости газа при заданных термобарических условиях**

```
=PVT_Mug_cP (B23;C23;gamma_gas_;gamma_oil_;gamma_wat_; Rsb_;  
Rp_; Pb_;Pb_;Bob_;muob_)
```

**функция расчета вязкости воды при заданных термобарических условиях**

```
=PVT_Muw_cP (B23;C23;gamma_gas_;gamma_oil_;gamma_wat_; Rsb_;  
Rp_; Pb_;Tres_;Bob_;muob_)
```

**функция расчета плотности газа при заданных термобарических условиях**

```
=PVT_Rhog_kgm3 (B23;C23;gamma_gas_;gamma_oil_;gamma_wat_;  
Rsb_; Rp_; Pb_;Tres_;Bob_;muob_)
```

**функция расчета плотности воды при заданных термобарических условиях**

```
=PVT_Rhow_kgm3 (B23;C23;gamma_gas_;gamma_oil_;gamma_wat_;  
Rsb_; Rp_; Pb_;Tres_;Bob_;muob_)
```

**функция расчета плотности нефти при заданных термобарических условиях**

```
=PVT_Rhoo_kgm3 (B23;C23;gamma_gas_;gamma_oil_;gamma_wat_;  
Rsb_; Rp_; Pb_;Tres_;Bob_;muob_)
```

Результаты приведены на рисунке 3.7

7. Ответьте на вопросы по упражнению приведенные в рабочей книге.
- Можно ли глядя на графические зависимости определить параметры нефти? Если да, то какие?
  - Всегда ли заданное значение давления насыщения совпадает со значением давления насыщения считанным с графиков?

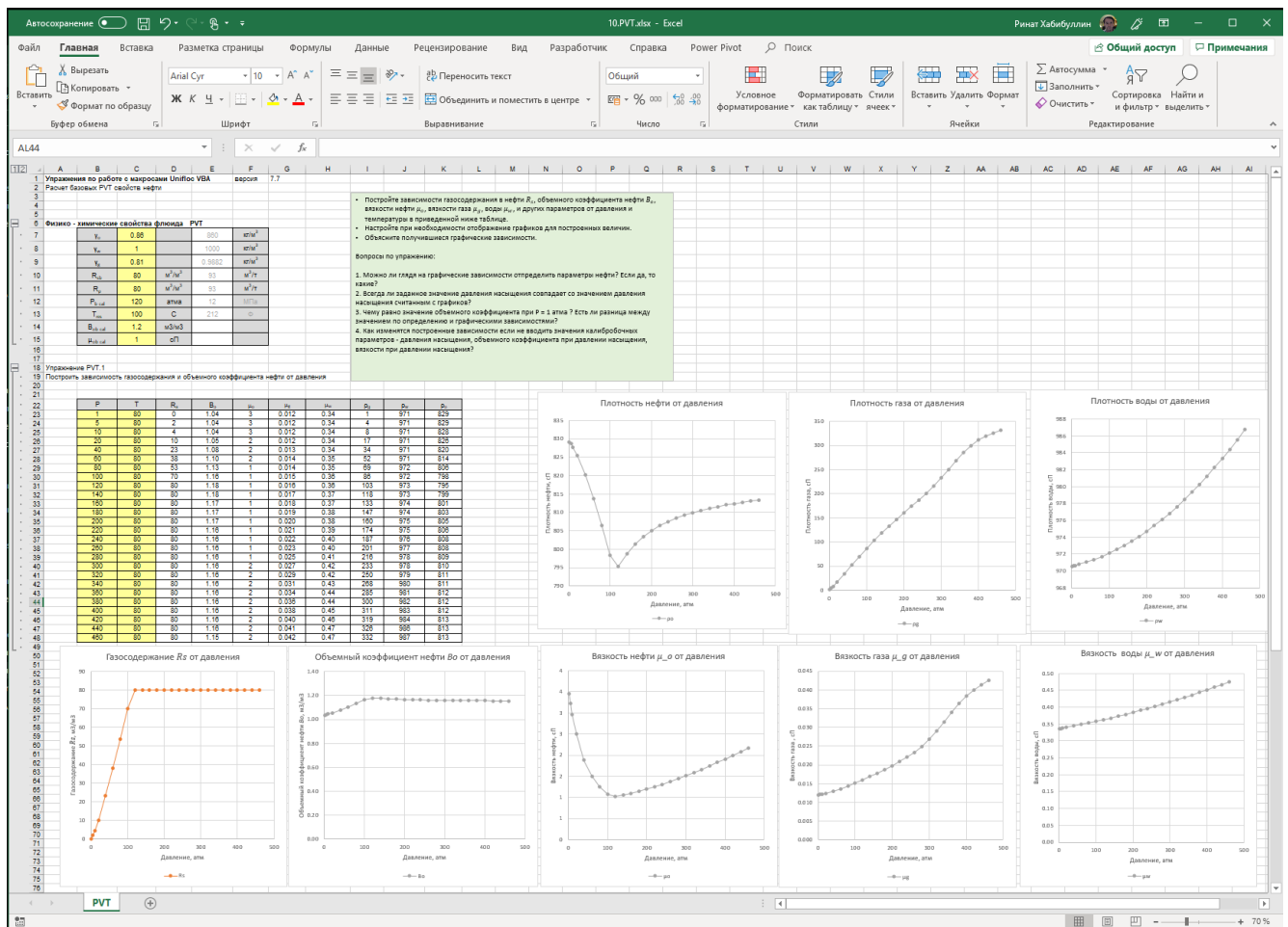


Рис. 3.7 — Результат расчета зависимости свойств пластовых флюидов от давления

- в) Чему равно значение объемного коэффициента при  $P = 1$  атма? Есть ли разница между исходным значением и значением определенным по графическими зависимостями?
- г) Как изменятся построенные зависимости если не вводить значения калибровочных параметров - давления насыщения, объемного коэффициента при давлении насыщения, вязкости при давлении насыщения?

### 3.2 Расчет производительности скважины

Модель притока к скважине является достаточно простой и одновременно полезной, позволяя оперативно оценивать добычные возможности скважины. Для

индикаторной диаграммы Вогеля зависимость забойного давления от дебита ниже давления насыщения перестает быть линейной.

Для выполнения упражнения необходимо задать:

1. PVT свойства флюидов
2. Параметры работы скважины на установившемся режиме
3. Пластовое давление

R14																			
1	Упражнения по работе с макросами Unifloc VBA	версия	7.7																
2	Построение индикаторной кривой																		
3																			
4																			
5																			
6	Физико - химические свойства флюида PVT																		
7	$V_o$	0.87		870	кг/м <sup>3</sup>														
8	$V_w$	1		1000	кг/м <sup>3</sup>														
9	$V_g$	0.8		1	кг/м <sup>3</sup>														
10	$R_{sb}$	80	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	92	м <sup>3</sup> /л														
11	$R_{sp}$	80	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	92	м <sup>3</sup> /л														
12	$P_{b\text{ cal}}$	120	атма	12	МПа														
13	$T_{res}$	100	°C	212	°F														
14	$B_{ob\text{ cal}}$	1.2	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>																
15	$\mu_{ob\text{ cal}}$	1	сП																
16	$f_w$	22	%	0.22	д.ед.														
17	$P_b$	120	атма	12	МПа														
18																			
19	Измеренные значение дебита и забойного давления																		
20	$Q_{l\text{ test}}$	100	м <sup>3</sup> /сут																
21	$P_{wf\text{ test}}$	150	атма																
22																			
23	Параметры пласта																		
24	$P_{res}$	250	атма																
25	$PI$	1.00	м <sup>3</sup> /сут/атм																
26	$Q_{max}$	198	м <sup>3</sup> /сут																
27																			
28	Настройка графика																		
29	$N$	20																	

Рис. 3.8 — Исходные данные для построения индикаторной кривой

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

`=IPR_PI_sm3dayatm(qltest_;Pwf test_;Pres_;fw_;Pb_)`

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

`=IPR_Qliq_sm3Day(PI_;Pres_;0;fw_;Pb_)`

После задания всех необходимых параметров перейдем к построению индикаторной кривой.

Для расчета забойного давления в зависимости от дебита введите в ячейку D40 строку

`=IPR_Pwf_atma(PI_;Pres_;C40;fw_;Pb_)`

Для вычисления дебита в зависимости от давления Вы можете воспользоваться функцией

`=IPR_Qliq_sm3Day(PI_;Pres_;D40;fw_;Pb_)`

поместив ее в ячейку E40.

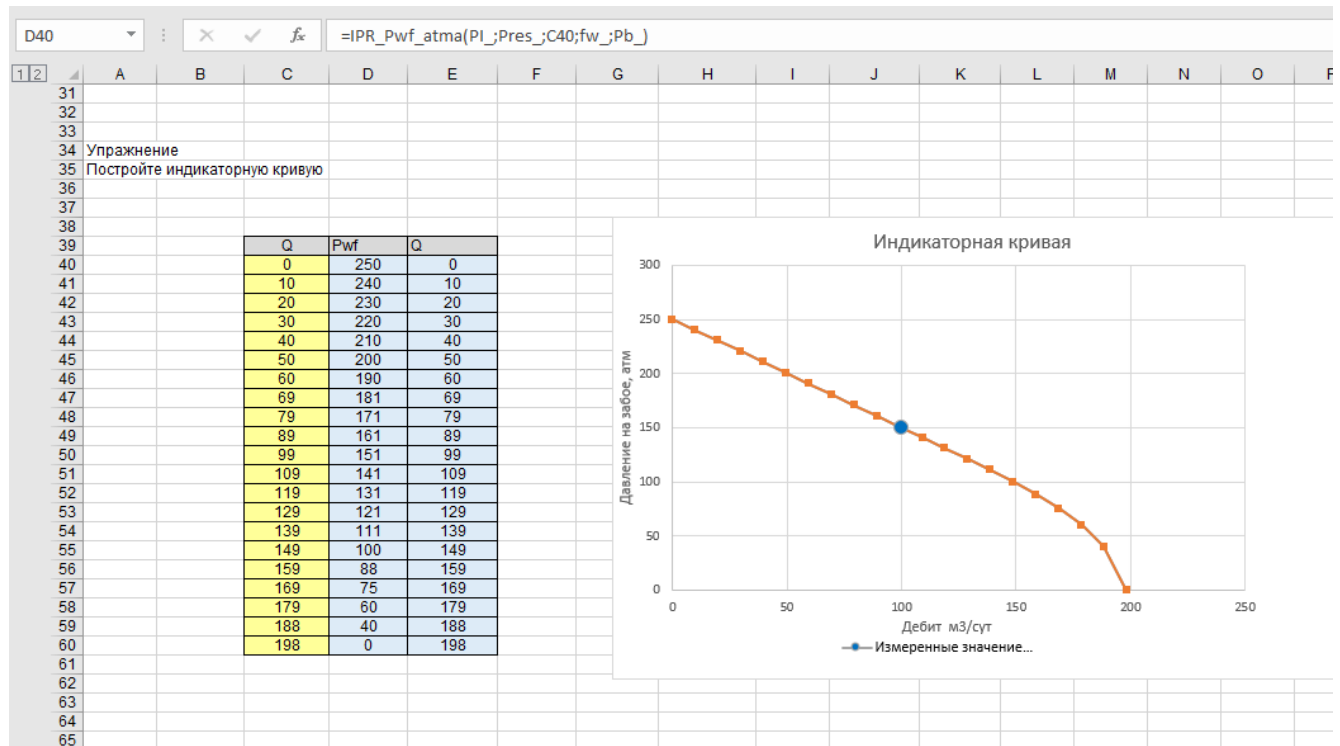


Рис. 3.9 — Результат построения индикаторной кривой

Применяя функции, строя дополнительные графики, ответьте на вопросы по упражнению, приведенные в рабочей книге.

1. Как можно оценить продуктивность скважины?
2. Зависит ли вид индикаторной кривой от газового фактора?

### 3.3 Расчет свойств многофазного потока

Расчет характеристики потока, состоящего из двух или более фаз, является более сложным, чем вычисление параметров однофазного потока. Вследствие разности плотностей и вязкостей, поведение фаз в потоке может существенно различаться. Расчет параметров газожидкостной смеси необходим для прогнози-



рования распределения давления в скважине, анализа работы погружного оборудования и т.д.

Аналогично предыдущим упражнениям сперва необходимо задать:

1. PVT свойства флюидов

2. Параметры потока флюида -  $Q_l$  - расход жидкости и  $f_w$  - обводненность.

После этого в ячейке C20 для удобства использования все PVT свойства сгруппируются в единую строку с помощью функции

=PVT\_encode\_string(gamma\_gas\_;gamma\_oil\_;gamma\_wat\_;Rsb\_;Rp\_;Pb\_;Tre

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	Упражнения по работе с макросами Unifluc VBA																			
2	Расчет свойств многофазного потока																			
3																				
4																				
5																				
6	Физико-химические свойства флюида PVT																			
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		$R_{so}$	80		м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	92	м <sup>3</sup> /т													
11		$R_g$	80		м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	92	м <sup>3</sup> /т													
12		$P_{sc}$	120		атма	122	МПа													
13		$T_{res}$	100		С	212	Ф													
14		$B_{ob,sc}$	1.2		м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>															
15		$\mu_{ob,sc}$	1		сП															
16	Параметры потока флюида																			
17		$Q_l$	50		м <sup>3</sup> /сут															
18		$f_w$	10		%															
19																				
20		PVT строка	gamma_gas:0.800;gamma_oil:0.870;gamma_wat:1.000;rsb:m3m3:80.000;rp:m3m3:80.000;pb_atma:120.000;tres_C:100.000;bob_m3m3:1.200;muob_cp:1.000;PVTcorr:0;ksep_fr:0.000;pksep_atma:-1.000;tksep_C:-1.000																	
21																				

• Постройте зависимость расхода газожидкостной смеси от давления и температуры

• Постройте зависимость доли газа в потоке от давления и температуры

• Постройте зависимость вязкости смеси от давления и температуры

• Постройте зависимость давления от газового фактора при котором доля газа в потоке равна заданной

Вопросы по упражнению

1. Насколько изменится расход ГЖС при изменении температуры от 30 С до 100 С. Оцените в уме и проверьте себя на основе расчета

2. Может ли в потоке появиться свободный газ при давлении выше давления насыщения? Если да то при каких условиях?

3. Как изменится вязкость ГЖС при подъеме на поверхность в скважине? Оцените степень изменения в уме и проверьте себя на основе расчета

Рис. 3.10 — Исходные данные для расчета параметров многофазного потока

Для расчета параметров смеси при разных термобарических условиях вставьте следующие функции в таблицу и ”протяните” их для полного заполнения.

Для расчета  $Q_{mix}$  - объемного расхода смеси воспользуйтесь в ячейке E28 функцией

=MF\_Qmix\_m3day(Q\_;fw\_;C28;D28;PVRstr1\_)

Вычисление  $\beta_{gas}$  - объемной доли газа в потоке в ячейке F28 производится с помощью функции

=MF\_gas\_fraction\_d(C28;D28;fw\_;PVRstr1\_)

А вязкости газожидкостной смеси  $\mu_{mix}$  в G28

=MF\_Mumix\_cP(Q\_;fw\_;C28;D28;PVRstr1\_)

Для вычисления давления в зависимости от газового фактора и объемного содержания газа в потоке  $\beta_{gas}$

Поместите в ячейку J28 строку:

=PVT\_encode\_string(gamma\_gas\_;gamma\_oil\_;gamma\_wat\_;Rsb\_;I28;Pb\_;Tre

А в ячейки K28, L28, M28 функцию для вычисления давления

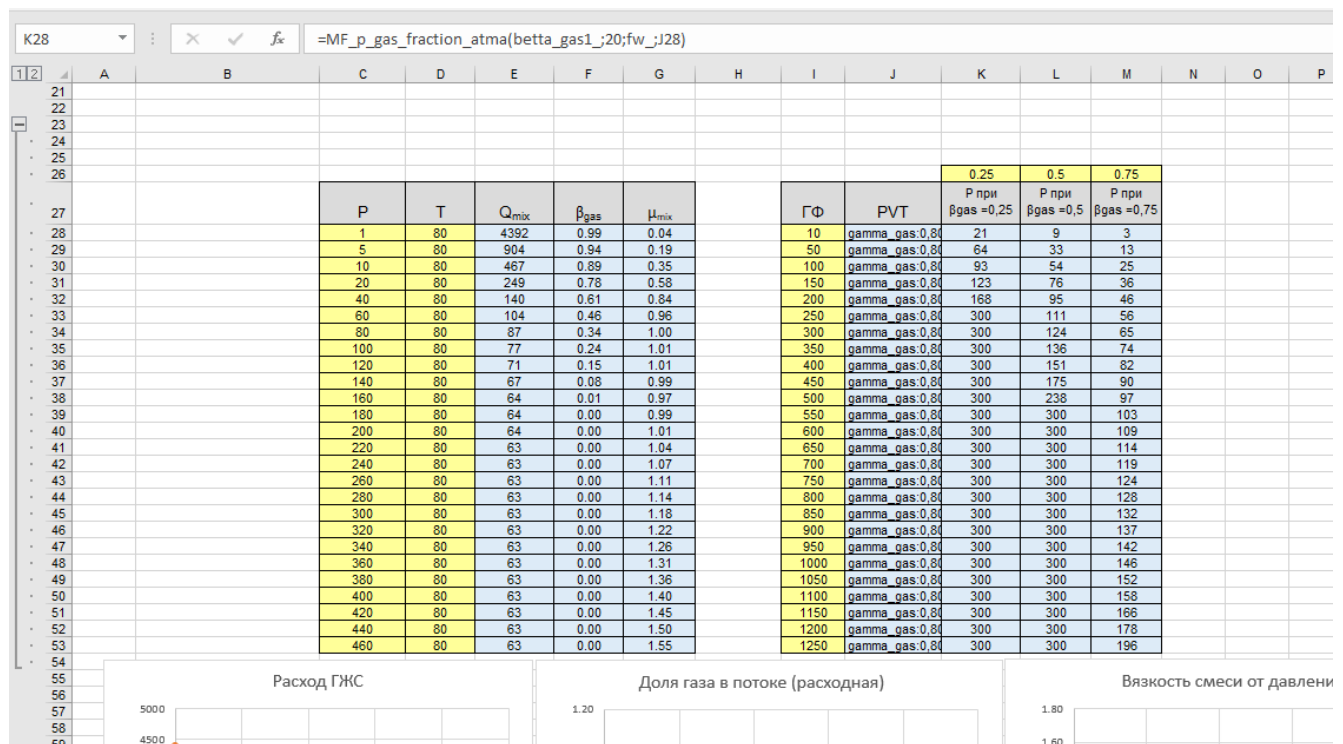


Рис. 3.11 — Расчет параметров многофазного потока

$$\text{=MF\_p\_gas\_fraction\_atma}(X;20;\text{fw\_};\text{J28})$$

где X соответствующие ссылки на ячейки с  $\beta_{\text{gas}}$  - K26, L26, M26

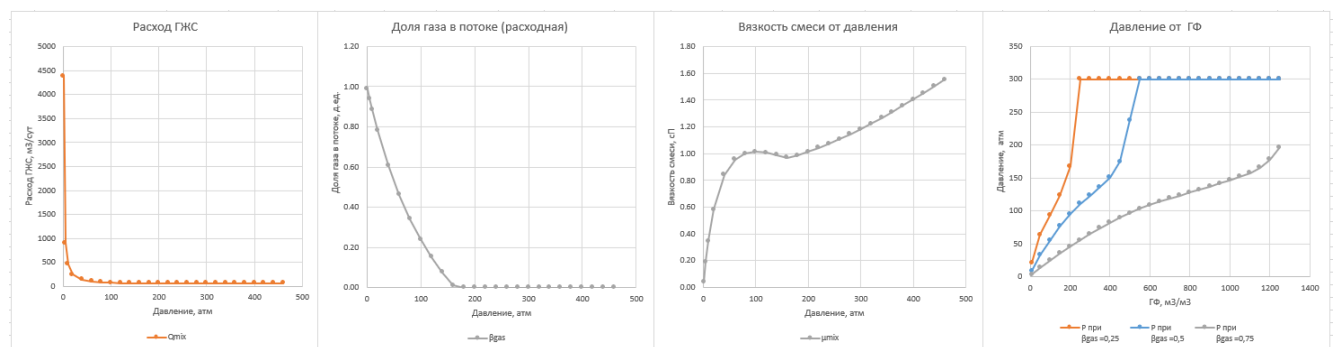


Рис. 3.12 — Графики для параметров многофазного потока

Далее для расчета вязкости отдельных фаз потока при различных Р,Т аналогично воспользуйтесь функциями.

Вязкость смеси  $\mu_{\text{mix}}$  в E98

$$\text{=MF\_Mumix\_cP}(Q\_;\text{fw\_};\text{C98};\text{D98};\text{PVRstr1\_})$$

Вязкость газа  $\mu_{\text{gas}}$  в F98

$$\text{=PVT\_Mug\_cP}(\text{C98};\text{D98};\text{gamma\_gas\_};\text{gamma\_oil\_};\text{gamma\_wat\_};\text{Rsb\_};\text{Rp\_};\text{Pb\_};\text{Tr}$$

Вязкость нефти  $\mu_o$  в G98

=PVT\_Muo\_cP(C98;D98;gamma\_gas\_;gamma\_oil\_;gamma\_wat\_;Rsb\_;Rp\_;Pb\_;Tr

И вязкость воды  $\mu_w$  в H98

=PVT\_Muw\_cP(C98;D98;gamma\_gas\_;gamma\_oil\_;gamma\_wat\_;Rsb\_;Rp\_;Pb\_;Tr

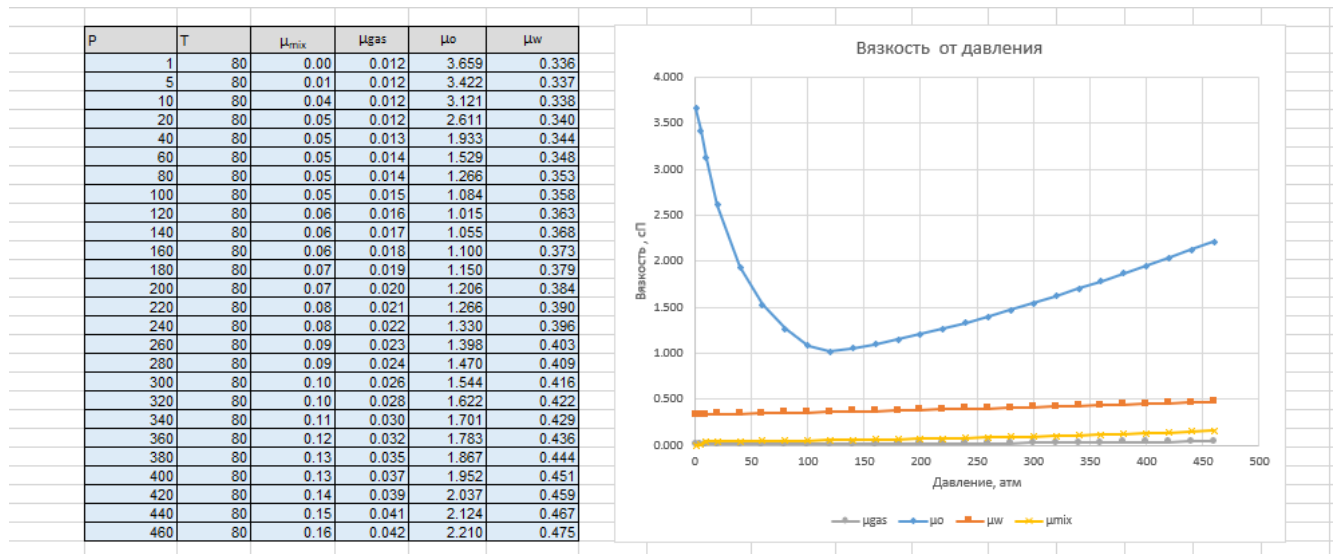


Рис. 3.13 — Разложение вязкости смеси на отдельные компоненты

Для самопроверки ответьте на следующие вопросы

1. Насколько изменится расход ГЖС при изменении температуры от 30 С до 100 С? Оцените в уме и проверьте себя на основе расчета
2. Может ли в потоке появиться свободный газ при давлении выше давления насыщения? Если да то при каких условиях?
3. Как изменится вязкость ГЖС при подъеме на поверхность в скважине? Оцените степень изменения в уме и проверьте себя на основе расчета

### 3.4 Расчет штуцера

Для контроля дебита и/или давления на добывающих скважинах вблизи устья может устанавливаться штуцер.

Расчет потока через данное гидравлическое сопротивление начинается с предварительного задания PVT свойств, параметров потока и конструкции элементов.

В упражнении следует ведется расчет

1. Линейное давление

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
1	Упражнения по работе с макросами Unifloс VBA					версия	7.7												
2	Расчет характеристик штурера																		
3																			
4																			
5																			
6	Физико - химические свойства флюида PVT																		
7		$\gamma_o$	0.87		870	кг/м <sup>3</sup>													
8		$\gamma_{ow}$	1		1000	кг/м <sup>3</sup>													
9		$\gamma_g$	0.8		0.976	кг/м <sup>3</sup>													
10		$R_{so}$	80	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	92	м <sup>3</sup> /т													
11		$R_s$	80	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	92	м <sup>3</sup> /т													
12		$P_{o\text{ sat}}$	120	атм	122	МПа													
13		$T_{res}$	100	С	212	°F													
14		$B_{ob\text{ sat}}$	1.2	м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>															
15		$\mu_{ob\text{ sat}}$	1	сП															
16	Параметры потока флюида																		
17		$f_w$	20	%															
18		Температура на входе	30	С															
19	Конструкция																		
20		Диаметр трубы	70	мм															
21		Диаметр штурера	10	мм															
22																			
23		PVT строка	gamma_gas:0.870;gamma_oil:0.870;gamma_wat:1.000;rb: m3m3;80.000;rp: m3m3;80.000;pb: атмa:120.000;tres: C:100.000;bob: m3m3;1.200;muob_cP:1.000;PVTcorr:0;ksep:f:0.000;pksep: атмa:-1.000;tksep:																
24																			

- Какие параметры описывают гидравлический элемент штурер? какие надо задать, а какие можно рассчитать?
- Постройте зависимость давления на выходе из штурера от дебита при различных диаметрах и давлениях на входе
- Постройте зависимость давления на входе в штурер от дебита. Для всех ли значений дебита можно построить такую зависимость?
- Постройте описанные выше зависимости от газового фактора
- Настройте модель штурера по известному дебиту и перепаду давления. Как изменится дебит в этом случае при уменьшении диаметра штурера

Рис. 3.14 — Исходные данные для расчета потока через штуцер

2. Буферное давление
3. Дебит вместе с подстроечным параметром

[illegible]

Рис. 3.15 — Расчет давлений и дебитов через ограничитель

Стоит отметить, что некоторые функции возвращают результат в виде массивов, которые занимают несколько ячеек. (Это можно определить по наличию фигурных скобок в строке формул). Поэтому для выдачи правильного результата необходимо выделить диапазон ячеек для будущего расположения массива. (Он выделен синим цветом; если диапазон окажется большим, в лишних ячейках появится сообщение "Н/Д"). После выделения диапазона наберите необходимую формулу и нажмите сочетание клавиш CTR+Shift+Enter.

Пользуясь инструкцией выше для расчета линейного давления по буферно-  
му выделите диапазон C29:G30 и вставьте функцию в строку формул

```
=MF_p_choke_atma(Qliq ;fw ;d_choke;Pbuf ;1;d_pipe;T_choke;;PVTstr_)
```

Если Вы все сделали правильно, то Вы увидите массив значений из двух строк: строка названий параметров и их значения.

Аналогично для расчета перепада давления

=MF\_p\_choke\_atma(Qliq\_;fw\_;d\_choke;Pbuf\_;1;d\_pipe;T\_choke;;PVTstr\_)

Расчет буферного давления по линейному

=MF\_p\_choke\_atma(Qliq\_;fw\_;d\_choke;Plin\_;0;d\_pipe;T\_choke;;PVTstr\_)

И перепад давления для данного случая

=MF\_dp\_choke\_atm(Qliq\_;fw\_;d\_choke;Plin\_;0;d\_pipe;T\_choke;;PVTstr\_)

Для вычисления дебита с помощью давлений предварительно необходимо рассчитать подстроечный параметр

=MF\_cf\_choke\_fr(Qliq\_;fw\_;d\_choke;Pbuf\_;Plin\_;d\_pipe;T\_choke;PVTstr\_)

После возможно рассчитать уже сам дебит через штуцер

=MF\_qliq\_choke\_sm3day(fw\_;d\_choke;Pbuf\_;Plin\_;d\_pipe;T\_choke;C37;PVTstr\_)

Чтобы построить график давление на входе штуцера от дебита при разных давлениях на выходе воспользуйтесь функцией для полного заполнения таблицы

=MF\_p\_choke\_atma(C49;fw\_;d\_choke;B50;0;d\_pipe;T\_choke;0;PVTstr\_)

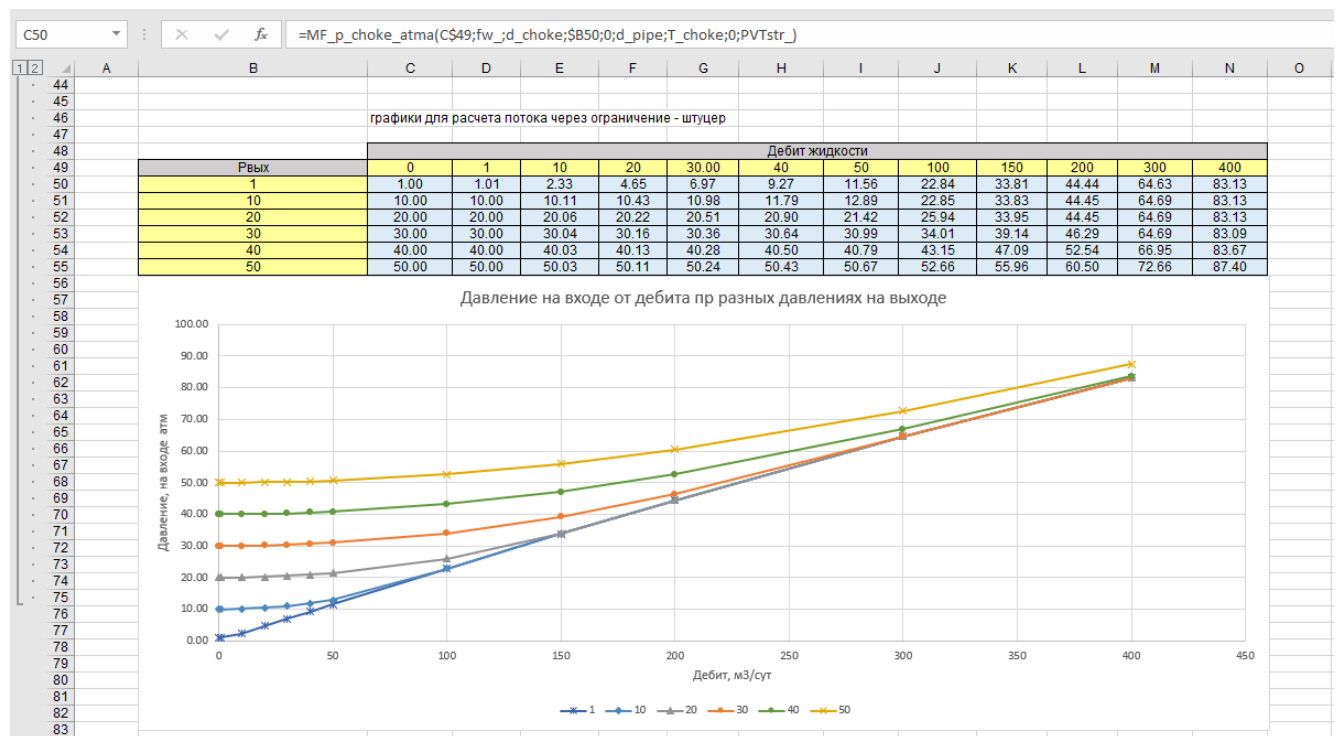


Рис. 3.16 — Давление на входе штуцера в зависимости от различных дебитов на выходе и давлений

Теперь Вы можете ответить на следующие вопросы:

- ### 3.5 Расчет распределения давления в трубе

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

Рис. 3.17 — Исходные данные для расчета распределения давления

$L$  - длина трубы, м

$ID$  - внутренний диаметр, мм

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

$P0, P1$  - давление на верхнем и нижнем конце трубы соответственно, атм

$T0, T1$  - 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 температуру. 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. Заполните таблицу методом протяжки сверху вниз

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

Расчет давления снизу-вверх выполните аналогично с помощью функции, протянутой снизу-вверх

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

Для закрепления материала ответьте на вопросы

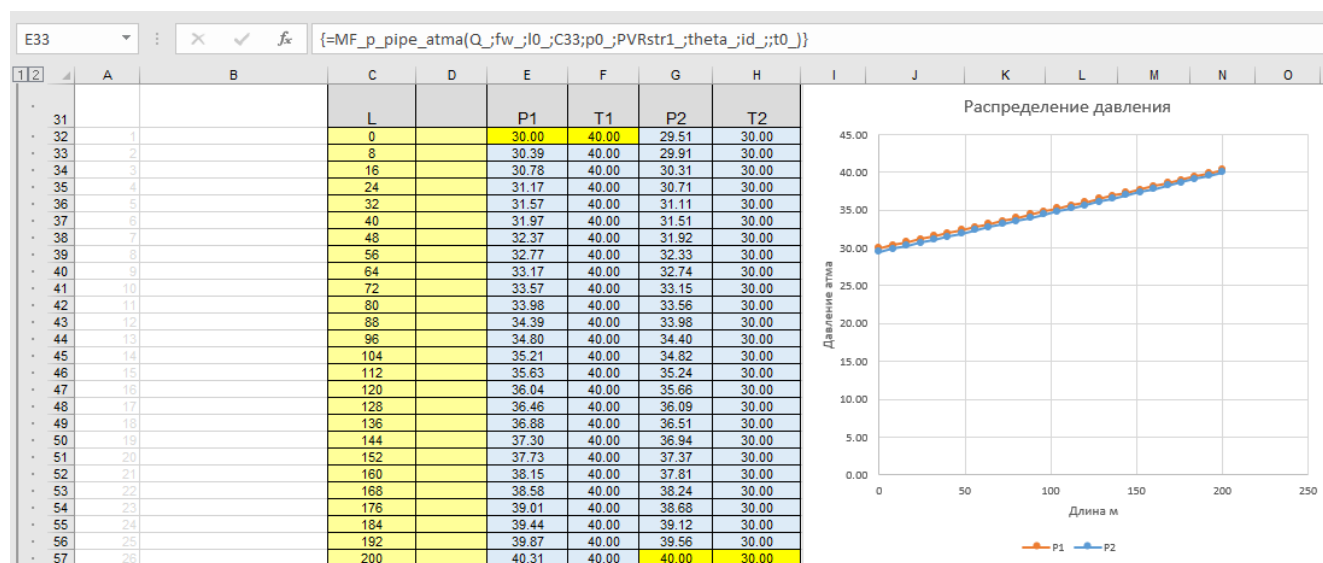


Рис. 3.18 — Распределение давления по трубе сверху-вниз и снизу-вверх

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?

### **3.6 Набор расчетных модулей анализа скважины**

Пример использования алгоритмов Unifloc 7.7 VBA приведен в файле UF7\_calc\_well.xlsm.

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

#### **3.6.1 Расчетный модуль анализа и настройки PVT свойств**