

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.

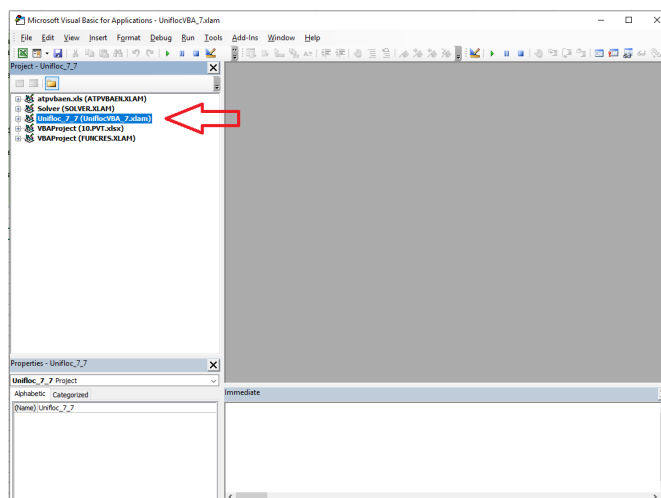


Рис. 3.1 — Окно редактора VBE с загруженной надстройкой Unifloc 7.7 VBA

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

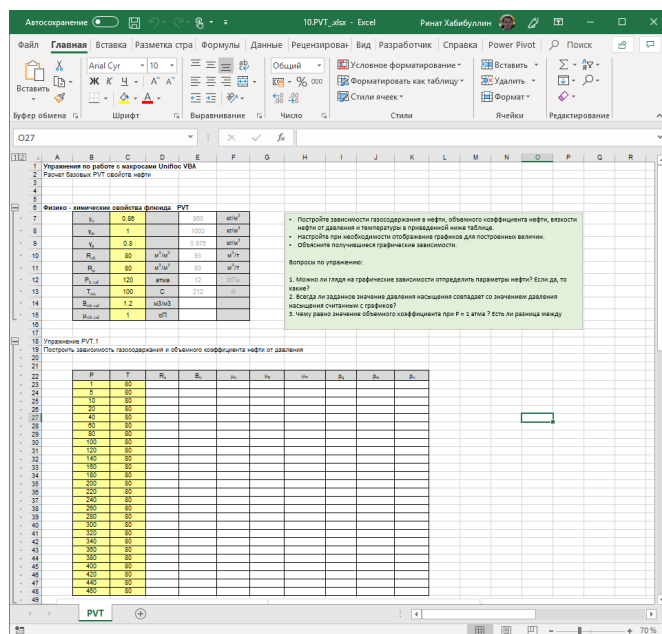


Рис. 3.2 — Открытый файл с упражнением 10 . PVT . xlsx

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.

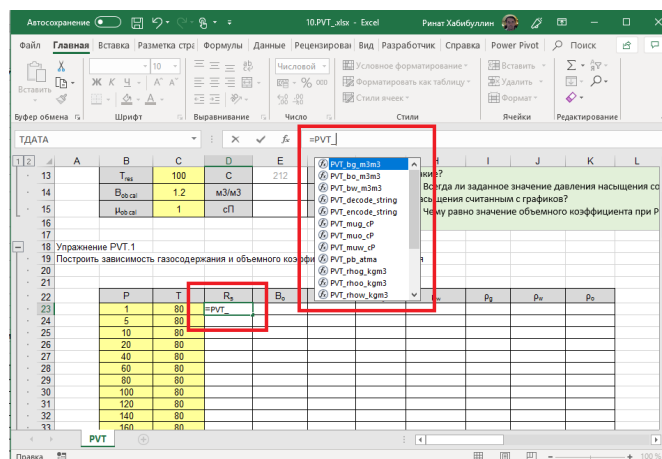


Рис. 3.3 — Выпадающий список с подсказками названий функции

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.

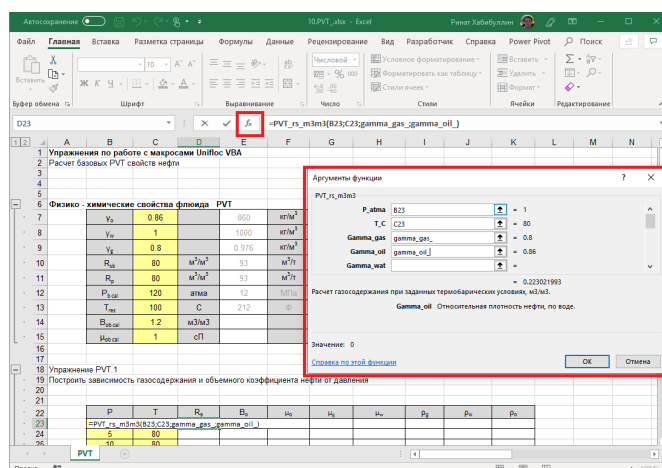


Рис. 3.4 — Окно ввода аргументов функции

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

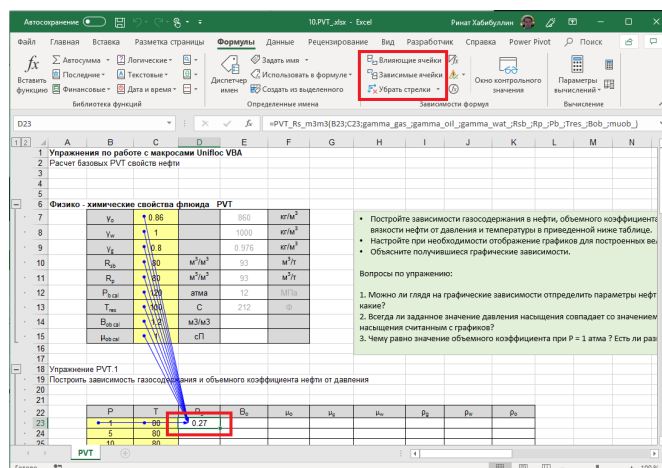


Рис. 3.5 — Результат вызова пользовательской функции с отображение влияющих ячеек

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

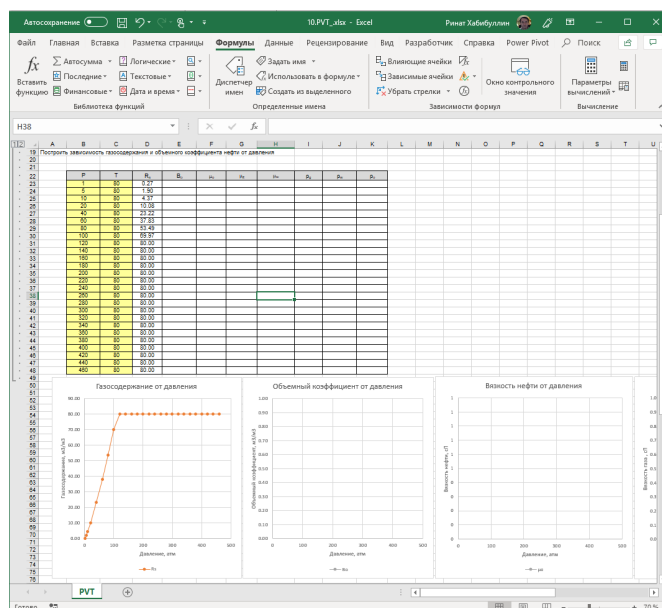


Рис. 3.6 — Результат расчета зависимости газосодержания от давления

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?

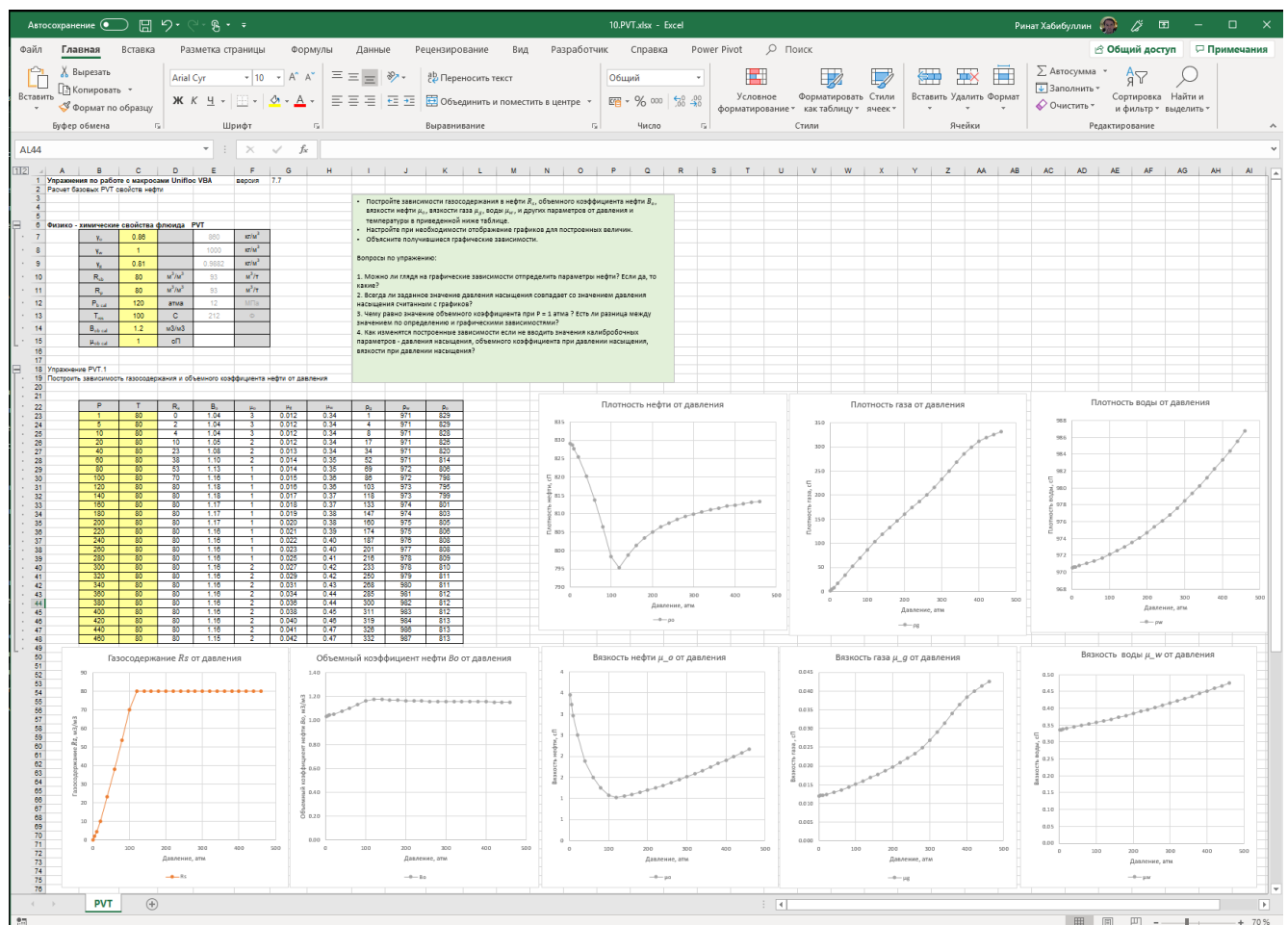


Рис. 3.7 — Результат расчета зависимости свойств пластовых флюидов от давления

- 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 ³														
8	V_w	1		1000	кг/м ³														
9	V_g	0.8		1	кг/м ³														
10	R_{sb}	80	м ³ /м ³	92	м ³ /т														
11	R_{sp}	80	м ³ /м ³	92	м ³ /т														
12	$P_{b\text{ cal}}$	120	атма	12	МПа														
13	T_{res}	100	°C	212	°F														
14	$B_{ob\text{ cal}}$	1.2	м ³ /м ³																
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 ³ /сут																
21	$P_{wf\text{ test}}$	150	атма																
22																			
23	Параметры пласта																		
24	P_{res}	250	атма																
25	PI	1.00	м ³ /сут/атм																
26	Q_{max}	198	м ³ /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 равным 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.

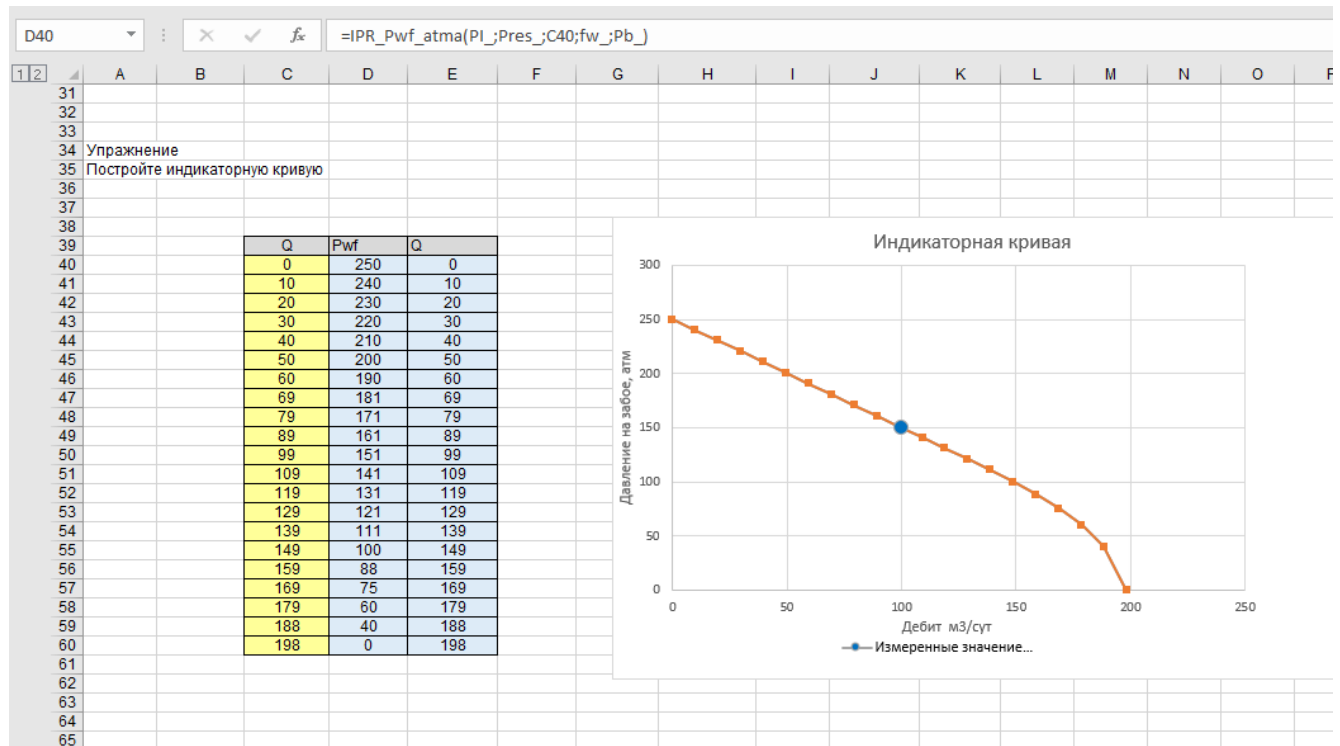


Рис. 3.9 — Результат построения индикаторной кривой

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

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 β_{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 μ_{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 β_{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

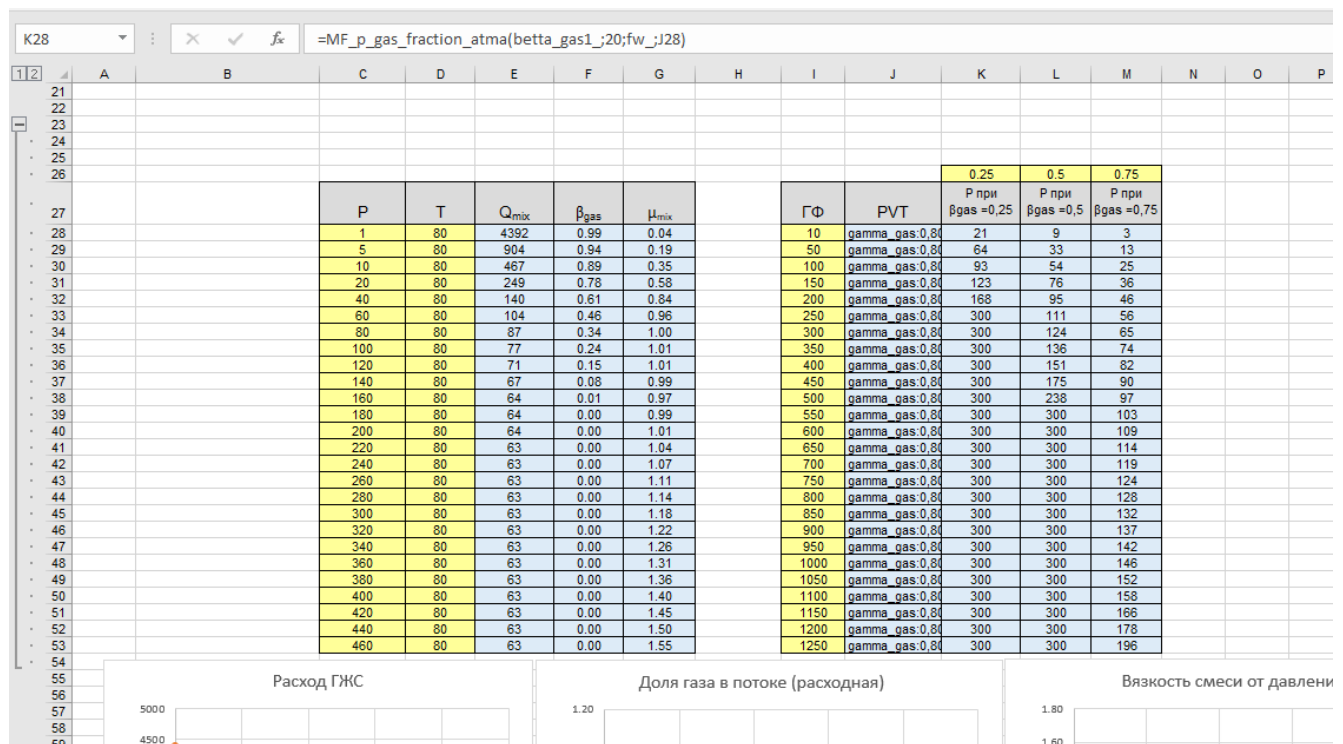


Рис. 3.11 — Расчет параметров многофазного потока

$$\text{=MF_p_gas_fraction_atma}(X;20;\text{fw_};\text{J28})$$

где X соответствующие ссылки на ячейки с β_{gas} - K26, L26, M26

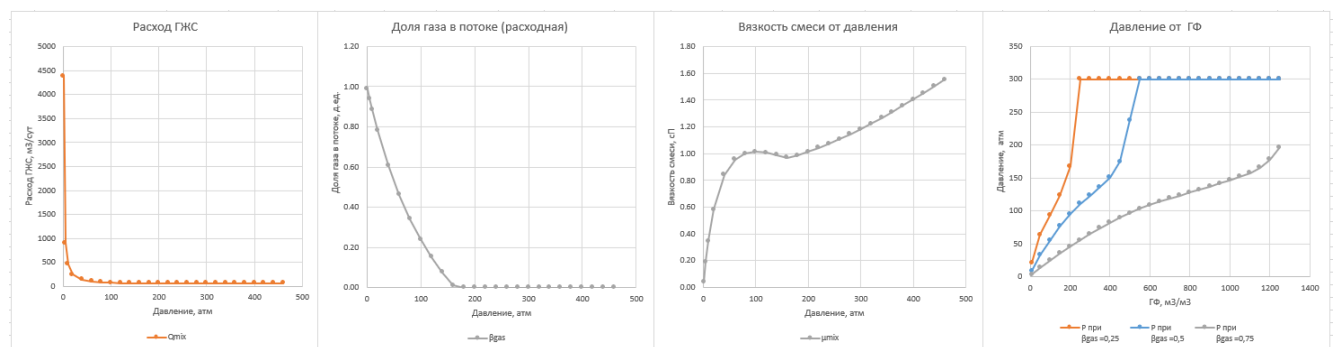


Рис. 3.12 — Графики для параметров многофазного потока

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

Вязкость смеси μ_{mix} в E98

$$\text{=MF_Mumix_cP}(Q_;\text{fw_};\text{C98};\text{D98};\text{PVRstr1_})$$

Вязкость газа μ_{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 μ_o в G98

=PVT_Muo_cP(C98;D98;gamma_gas_;gamma_oil_;gamma_wat_;Rsb_;Rp_;Pb_;Tr

И вязкость воды μ_w в H98

=PVT_Muw_cP(C98;D98;gamma_gas_;gamma_oil_;gamma_wat_;Rsb_;Rp_;Pb_;Tr

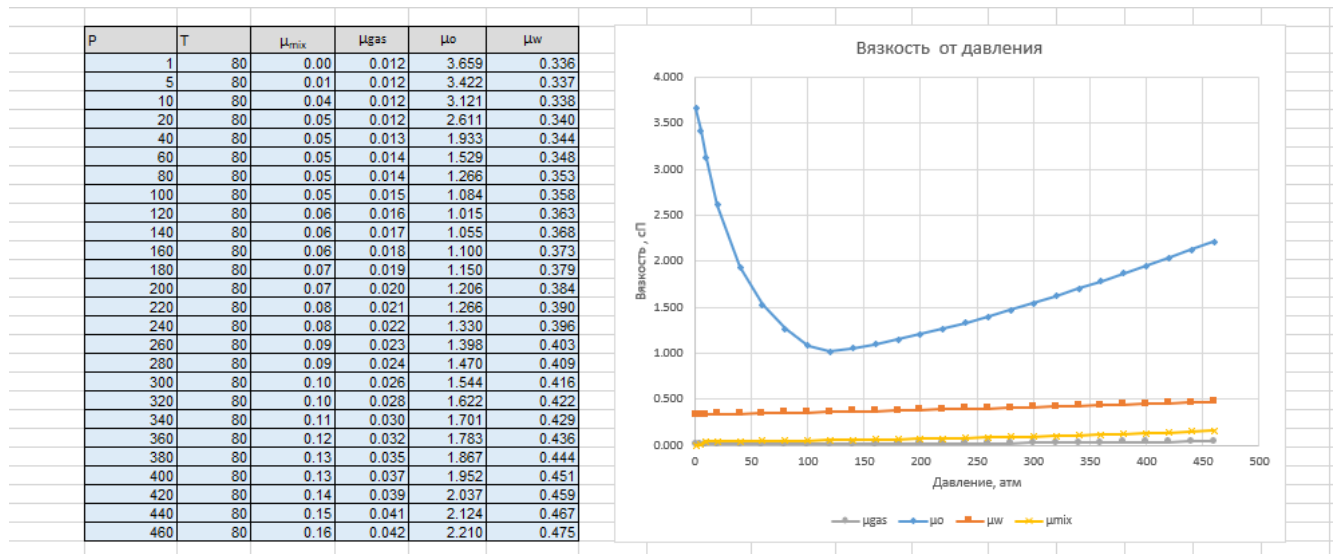


Рис. 3.13 — Разложение вязкости смеси на отдельные компоненты

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 предлагается рассчитать

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 Uniflow VBA					версия	7.7												
2	Расчет характеристик штурера																		
3																			
4																			
5																			
6	Физико - химические свойства флюида PVT																		
7		γ_o	0.87		870	кг/м ³													
8		γ_{ow}	1		1000	кг/м ³													
9		γ_g	0.8		0.976	кг/м ³													
10		R_{so}	80	м ³ /м ³	92	м ³ /т													
11		R_s	80	м ³ /м ³	92	м ³ /т													
12		$P_{b\text{ cel}}$	120	атм	122	МПа													
13		T_{res}	100	С	212	°F													
14		$B_{ob\text{ cel}}$	1.2	м ³ /м ³															
15		$\mu_{ob\text{ cel}}$	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: atma:120.000 tres: C:100.000 bob: m3m3:1.200 muob_cP:1.000 PVTcorr:0 ksep_f:0.000 pksep_atma: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 Ctrl+Shift+Enter.

Пользуясь инструкцией выше, для расчета линейного давления по буферному выделите диапазон C29:G30, вставьте следующую функцию в строку формул и после нажмите сочетание клавиш Ctrl+Shift+Enter.

```
=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 давления на входе штуцера от дебита при разных давлениях на выходе воспользуйтесь функцией для полного заполнения таблицы

=MF_p_choke_atma(C\$49;fw_;d_choke;\$B50;0;d_pipe;T_choke;0;PVTstr_)

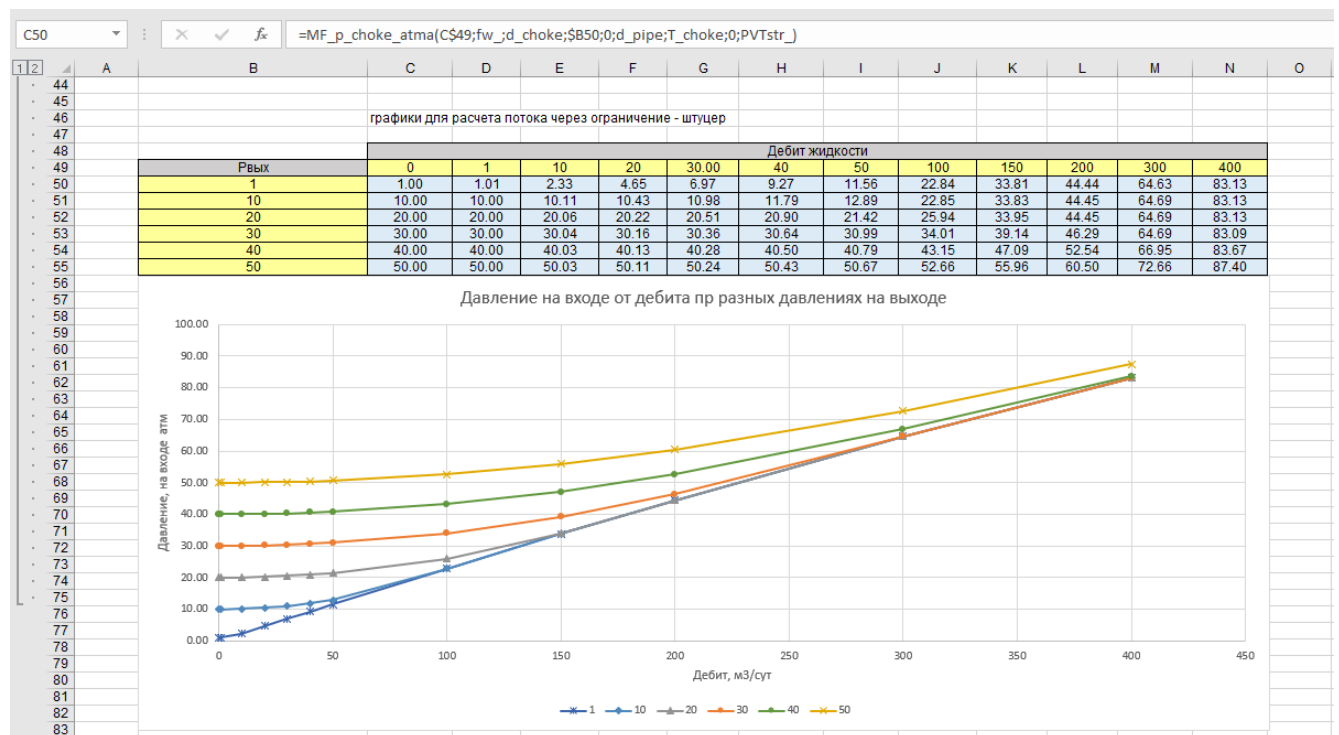


Рис. 3.16 — Давление на входе штуцера в зависимости от различных дебитов на выходе и давлений

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

ID - внутренний диаметр, мм

θ - 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 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

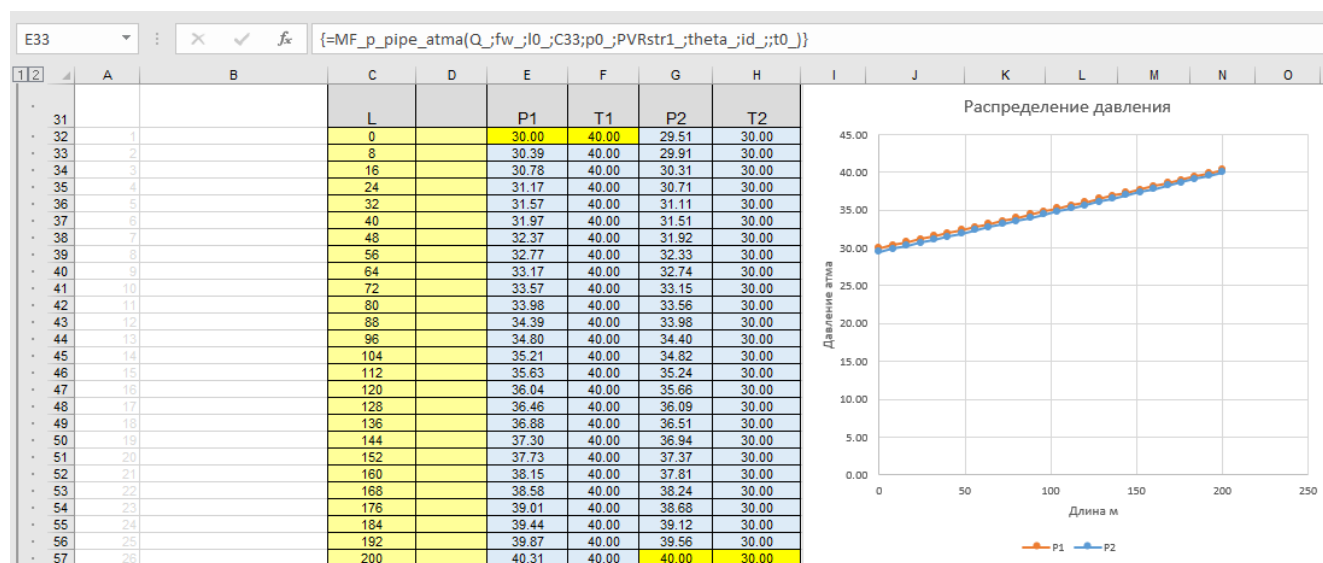


Рис. 3.18 — Распределение давления по трубе сверху-вниз и снизу-вверх

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 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				версия	7.7
2	Расчет коэффициентов сепарации					
3						
4						
5						
6	Физико - химические свойства флюида					
7	γ_o	0.875			875	кг/м ³
8	γ_w	1			1000	кг/м ³
9	γ_g	0.9			1.098	кг/м ³
10	R_{so}	80	м3/м3	м ³ /м ³	91	м ³ /т
11	R_o	80	м3/м3	м ³ /м ³	91	м ³ /т
12	$P_{b,cal}$	120	атм	атма	122	МПа
13	T_{res}	120	С	С	248	Ф
14	$B_{ob,cal}$	1.2	м3/м3			
15	$\mu_{ob,cal}$	1	сР			
16	f_w	1	%			
17						
18	Данные по скважине					
19	d_{cas}	125	мм			
20	d_{intake}	100	мм			
21	P_{intake}	30	атм			
22	T_{intake}	80	С			
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						

Рис. 3.19 — 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_

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. 3.20 — Результаты расчета естественной и искусственной сепарации

Вопросы к упражнению

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

3.7 Анализ работы ЭЦН

Сегодня доминирующая доля нефти в РФ добывается при помощи ЭЦН. Требуется детальное знание об основных условиях 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, м3/сут

f_w - обводненность в поверхностных условиях, %

Параметры, описывающие ЭЦН:

ЭЦН Q_{nom} - номинальная подача ЭЦН, м3/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 7.7 VBA

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

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, %

1	Упражнения по работе с макросами Uniflос VBA			версия	7.7
2	Анализ работы ЭЦН				
3					
4					
5					
6	Физико - химические свойства флюида				
7	γ_o	0.87		870	кг/м ³
8	γ_w	1		1000	кг/м ³
9	γ_g	0.8		0.976	кг/м ³
10	R_{ob}	80	м ³ /м ³	92	м ³ /т
11	R_p	80	м ³ /м ³	92	м ³ /т
12	$P_{o\,cal}$	120	атма	122	МПа
13	T_{res}	100	С	212	Ф
14	$B_{ob\,cal}$	1.2	м ³ /м ³		
15	$\mu_{ob\,cal}$	20	сП		
16					
17	Данные по скважине				
18	H_{total}	2000	м		
19	$H_{total}-H_{vert}$	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_{wf}	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. 3.21 — Исходные данные для свойств флюида и параметров скважины

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

33	ЭЦН				
34	ЭЦН Q_{nom}	110	м3/сут		
35	ЭЦН H_{nom}	2000	м		
36	F	50	Гц		
37	ЭЦН ID	737			PVT строка
38	ЭЦН имя	BHH5-125			gamma_gas:0,800;gamma_oil:0,870;gamma_wat:1,000;rsb_m
39	ЭЦН Q_{max}	230			
40	Ступени	324	шт		ЭЦН строка
41	$K_{sep\,гс}$	90%			ESP_ID:737,00000;HeadNom_m:2000,00000;ESPfreq_Hz:50,0
42	P_{sep}	80.00	атм		
43	T_{sep}	80.00	С		
44					
45	Пласт				
46	P_{res}	250	атм		
47	PI	0.29	м3/сут/атм		
48	dT/dL	3	град/100 м		
49	N	20			

Рис. 3.22 — Исходные данные для ЭЦН и пласта

Для получения идентификационного номера насоса в базе была использована формула

=ESP_id_by_rate(Q_ESP_)

Для определения обозначения ЭЦН

=ESP_name(C37)

Расчет максимально возможного дебита

=esp_max_rate_m3day(Freq_; PumpID_) * 1

Количество ступеней

=ЦЕЛОЕ(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 сепаратора с помощью формулы

=MF_gas_fraction_d(Pintake_; Tintake_; fw_; PVTstr)

В соседней ячейке D50 для удобного расположения задается вязкость в сПуаз

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)

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_

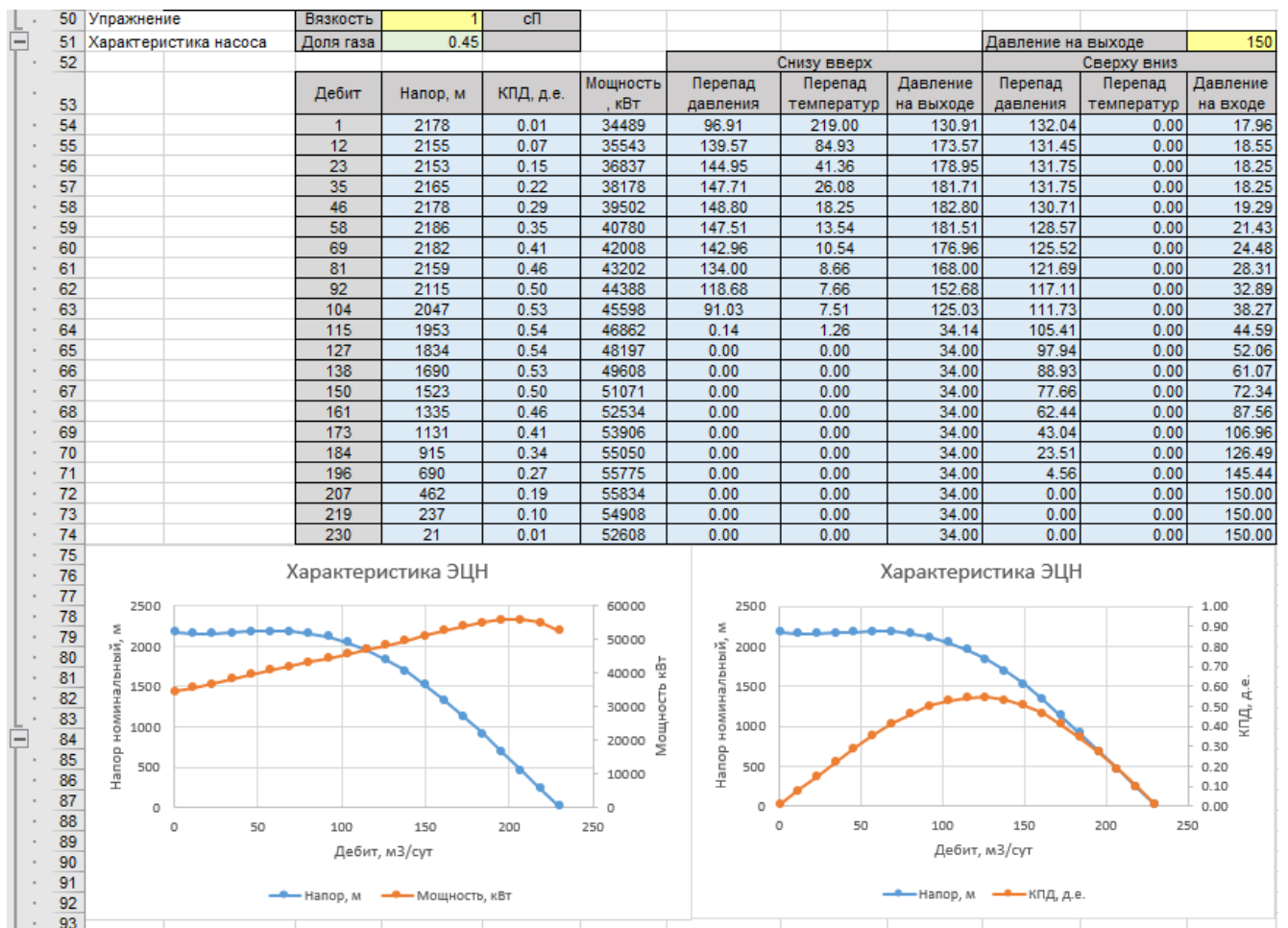


Рис. 3.23 — Напорные характеристики ЭЦН с поправкой на вязкость

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 ;Ti
```

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

=PdIs-J54

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?

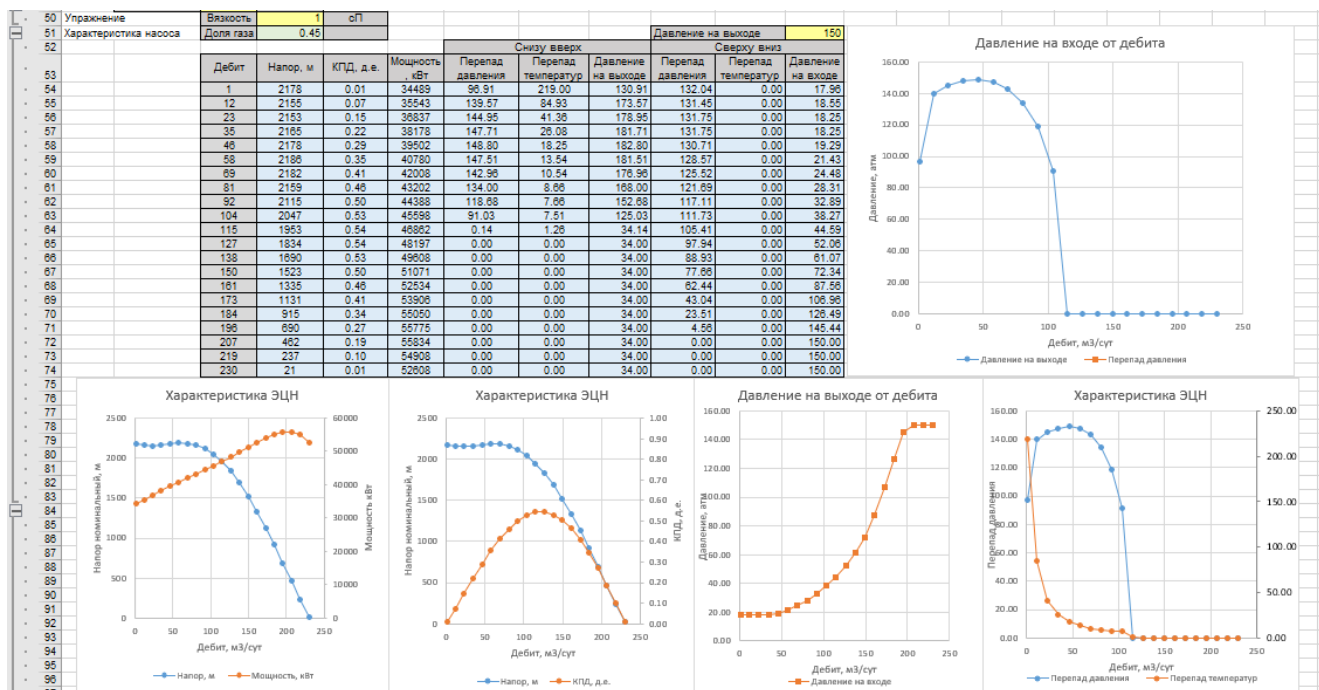


Рис. 3.24 — Расчет перепада давления и температур в ЭЦН в зависимости от дебита

3.8 Набор расчетных модулей анализа скважины

Пример использования алгоритмов Unifloc 7.7 VBAприведен в файле UF7 calc well.xlsm.

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

3.8.1 Расчетный модуль анализа и настройки PVT свойств