

На правах рукописи

Хабибуллин Ринат

# **Руководство пользователя Unifloc 7 VBA**

вер 0.4

Проект: TeX

Москва 2019

## Оглавление

	Стр.
<b>Введение . . . . .</b>	<b>6</b>
<b>Глава 1. Макросы VBA для проведения расчётов . . . . .</b>	<b>7</b>
1.1 Запуск VBA . . . . .	8
1.2 Ключевые особенности VBA и соглашения, используемые в макросах . . . . .	8
1.3 Обозначение параметров . . . . .	9
<b>Глава 2. Функции модуля «u7_Excel_functions» . . . . .</b>	<b>10</b>
2.1 Расчёт физико-химических свойств флюидов (PVT) . . . . .	10
2.1.1 Обозначения PVT параметров . . . . .	10
2.1.2 Стандартные условия . . . . .	12
2.1.3 PVT_Pb_atma – давление насыщения . . . . .	13
2.1.4 PVT_Rs_m3m3 – газосодержание . . . . .	15
2.1.5 PVT_Bo_m3m3 – объёмный коэффициент нефти . . . . .	18
2.1.6 PVT_Bg_m3m3 – объёмный коэффициент газа . . . . .	21
2.1.7 PVT_Bw_m3m3 – объёмный коэффициент воды . . . . .	23
2.1.8 PVT_Muo_cP – вязкость нефти . . . . .	25
2.1.9 PVT_Mug_cP – вязкость газа . . . . .	27
2.1.10 PVT_Muw_cP – вязкость воды . . . . .	29
2.1.11 PVT_Rhoo_kgm3 – плотность нефти . . . . .	31
2.1.12 PVT_Rhog_kgm3 – плотность газа . . . . .	33
2.1.13 PVT_Rhow_kgm3 – плотность воды . . . . .	35
2.1.14 PVT_Z – коэффициент сверхсжимаемости газа . . . . .	37
2.2 Расчёт свойств потока . . . . .	39
2.2.1 MF_Qmix_m3day – расход газожидкостной смеси . . . . .	39
2.2.2 MF_Rhomix_kgm3 – плотность газожидкостной смеси . . . . .	39
2.2.3 MF_GasFraction_d – доля газа в потоке . . . . .	40
2.2.4 MF_PGasFraction_atma – целевое давления для заданной доли газа в потоке . . . . .	42

2.2.5	MF_RpGasFraction_m3m3 – целевой газовый фактор для заданной доли газа в потоке . . . . .	42
2.3	Сепарация газа в скважине . . . . .	43
2.3.1	MF_SeparNat_d – естественная сепарация газа . . . . .	43
2.3.2	MF_SeparTotal_d – естественная сепарация газа . . . . .	44
2.4	Расчёт многофазного потока в штуцере . . . . .	45
2.4.1	Модель потока через штуцер . . . . .	45
2.4.2	MF_PChoke_atm – Расчет давления на входе и на выходе штуцера . . . . .	45
2.4.3	MF_dPChoke_atm – Расчёт перепада давления в штуцере . . . . .	46
2.4.4	MF_QChoke_m3day – функция расчёта дебита жидкости через штуцер . . . . .	47
2.5	Расчет многофазного потока в трубе . . . . .	48
2.5.1	MF_dPpipe_atma – расчёт перепада давления в трубе . . . . .	48
2.6	Расчет многофазного потока в пласте . . . . .	51
2.6.1	IPR_Pi_sm3dayatm – расчёт продуктивности . . . . .	52
2.6.2	IPR_Pwf_atm – расчёт дебита по давлению и продуктивности . . . . .	53
2.6.3	IPR_Ql_sm3Day – расчёт дебита по давлению и продуктивности . . . . .	54
<b>Глава 3.</b>	<b>Функции модуля «u7_Excel_functions_ESP» . . . . .</b>	<b>55</b>
3.1	Гидравлический расчет центробежного насоса (ЦН) . . . . .	56
3.2	Электромеханический расчёт погружного электрического двигателя ПЭД . . . . .	56
3.2.1	Устройство трёхфазной асинхронной машины . . . . .	58
<b>Глава 4.</b>	<b>Функции модуля «tr_mdITecRegimes» . . . . .</b>	<b>60</b>
4.1	Технологический режим добывающих скважин . . . . .	60
4.1.1	tr_Pwf_calc_atma – расчёт забойного давления по динамическому уровню . . . . .	61
4.1.2	tr_Pwf_calc_Pin_atma – расчёт забойного давления по давлению на приеме . . . . .	61
4.1.3	tr_Prump_calc_atma – расчёт давления на приеме по динамическому уровню . . . . .	62

4.1.4	tr_Potential_Pwf_atma – расчёт целевого забойного давления по доле газа . . . . .	62
4.1.5	tr_BB_Pwf_atma – расчёт забойного давления фонтанирующей скважины по буферному давлению . . . . .	62
4.1.6	tr_BB_Pwf_Pin_atma – расчёт забойного давления по давлению на приеме по корреляции Беггса-Брилла . . . . .	63
<b>Список сокращений и условных обозначений . . . . .</b>		<b>65</b>
<b>Словарь терминов . . . . .</b>		<b>66</b>
<b>Приложение А. Автоматически сгенерированное описание . . . . .</b>		<b>67</b>
A.1	IPR_PI_sm3dayatm . . . . .	68
A.2	IPR_Pwf_atma . . . . .	68
A.3	IPR_Ql_sm3Day . . . . .	69
A.4	MF_CJT_Katm . . . . .	69
A.5	MF_dPChoke_atm . . . . .	70
A.6	MF_dPpipe_atm . . . . .	70
A.7	MF_GasFraction_d . . . . .	72
A.8	MF_Mumix_cP . . . . .	73
A.9	MF_PChoke_atm . . . . .	74
A.10	MF_PGasFraction_atma . . . . .	74
A.11	MF_PpipeZLNF_atma . . . . .	75
A.12	MF_Ppipe_atma . . . . .	76
A.13	MF_QChoke_m3day . . . . .	78
A.14	MF_Qmix_m3day . . . . .	78
A.15	MF_Rhomix_kgm3 . . . . .	79
A.16	MF_RpGasFraction_m3m3 . . . . .	80
A.17	MF_SeparNat_d . . . . .	80
A.18	MF_SeparTotal_d . . . . .	81
A.19	PVT_Bg_m3m3 . . . . .	81
A.20	PVT_Bo_m3m3 . . . . .	83
A.21	PVT_Bw_m3m3 . . . . .	84
A.22	PVT_Mug_cP . . . . .	86

	Стр.
A.23 PVT_Muo_cP . . . . .	87
A.24 PVT_Muw_cP . . . . .	89
A.25 PVT_Pb_atma . . . . .	90
A.26 PVT_Rhog_kgm3 . . . . .	92
A.27 PVT_Rhoo_kgm3 . . . . .	93
A.28 PVT_Rhow_kgm3 . . . . .	95
A.29 PVT_Rs_m3m3 . . . . .	96
A.30 PVT_Sal_ppm . . . . .	98
A.31 PVT_STliqgas_Nm . . . . .	99
A.32 PVT_SToilgas_Nm . . . . .	101
A.33 PVT_STwatgas_Nm . . . . .	102
A.34 PVT_Z . . . . .	104

## Введение

Документ описывает расчётный модуль Unifloc 7.6 VBA реализованный в Excel VBA. Модуль предназначен для изучения математических моделей систем нефтедобычи и развития навыков проведения инженерных расчётов.

Расчётный модуль охватывают основные элементы математических моделей систем нефтедобычи - модель физико-химических свойств пластовых флюидов, модели многофазного потока в трубах, в пласте, задачи узлового анализа, модели скважинного оборудования в частности УЭЦН.

Для использования Unifloc 7.6 VBA требуются навыки уверенного пользователя MS Excel, желательно знание основ программирования и основ теории добычи нефти.

Алгоритмы реализованные в расчётном модуле не претендуют на полноту и достоверность и ориентированы на учебные задачи и проведение простых расчётов. Руководство пользователя также не претендует на полноту описания системы (часто получается, что описание отстаёт от текущего состояния Unifloc 7.6 VBA ). Все приводится как есть. Более надёжным способом получения достоверной информации о работе макросов Unifloc 7.6 VBA является изучение непосредственно расчётного кода в редакторе VBE.

По всем вопросам можно обращаться к автору расчётных модулей - Хабибуллину Ринату Альфредовичу ([khabibullin.ra@gubkin.ru](mailto:khabibullin.ra@gubkin.ru))

## Глава 1. Макросы VBA для проведения расчётов

Расчёты с использованием Unifloc 7.6 VBA выполняются с использованием макросов написанных на языке программирования Visual Basic for Application (VBA) в среде Excel.

Для использования макросов не требуется программировать, достаточно уметь вызывать необходимые макросы из Excel. Тем не менее макросы Unifloc 7.6 VBA могут быть использованы для написания собственных подпрограмм или модифицированы для достижения необходимых целей. Владение навыками программирования и изучения исходного кода макросов может оказаться чрезвычайно полезным.

Исходный код расчётных модулей находится в отдельном файле - надстройке Excel файле с расширением.xlam. Для использования макросов данная надстройка должна быть установлена на компьютере, на котором проводятся расчёты. Подробное описание процедуры установки надстройки можно найти на сайте microsoft по ключевым словам "[добавление и удаление надстроек в Excel](#)".

Для активации надстройки

1. На вкладке Файл выберите команду Параметры, а затем — категорию Надстройки.
2. В поле Управление выберите пункт Надстройки Excel, а затем нажмите кнопку Перейти. Откроется диалоговое окно Надстройки.
3. Чтобы установить и активировать надстройку Унифлок 7.1, нажмите кнопку Обзор (в диалоговом окне Надстройки), найдите надстройку, а затем нажмите кнопку ОК.
4. Надстройка появится в списке надстроек. Галочка активации надстройки должна быть установлена

После установки и активации надстройки, встроенными в нее макросами можно будет пользоваться в любой книге Excel на данном компьютере. При переносе расчётных файлов на другой компьютер для сохранения их работоспособности должна быть передана и установлена и надстройка.

В некоторых случаях может быть удобен альтернативный способ работы с надстройкой, не требующий ее установки на компьютере. Это бывает удобно, когда версия надстройки часто меняется. Для этого необходимо открыть файл надстройки непосредственно в Excel, например двойным щелчком по файлу над-

стройки в проводнике. При этом Excel откроется, но никаких документов в нем не появится. Но сама надстройка будет загружена и готова к использованию любым файлом открытым в этой копии Excel. Следует обратить внимание, что при таком варианте работы с надстройкой при переносе сохраненных файлом между компьютерами при открытии файла может возникать запрос, что связанный файл надстройки не найден на новом компьютере. В этом случае в окне запроса следует выбрать кнопку изменить и указать правильное положение файла надстройки.

## 1.1 Запуск VBA

Чтобы получить доступ к макросам в текущей версии расчётного модуля для выполнения упражнений необходимо:

- Запустить Excel запуская рабочую книгу для выполнения упражнений
- Нажать комбинацию клавиш <Alt-F11>
- Откроется новое окно с редактором макросов VBA (Рис. 1.1). Иногда в литературе окно редактирования макросов обозначают как VBE (Visual Basic Enviroment)
- Окне VBE можно изучить структуру проекта (набора макросов и других элементов). Раздел со структурой проекта можно открыть из меню <Вид – Обозреватель проекта>. Макросы располагаются в ветках «модули» и «модули классов»

## 1.2 Ключевые особенности VBA и соглашения, используемые в макросах

Строки, начинающиеся со знака ‘ являются комментариями. В VBE они выделяются зелёным цветом. На исполнение макроса не влияют.

Для многих макросов не обязательно задавать все параметры. Некоторые значения параметров могут не задаваться – тогда будут использованы значения параметров, принятые по умолчанию. Параметры, допускающие задание по умолчанию помечены в исходном коде ключевым словом *Optional*.



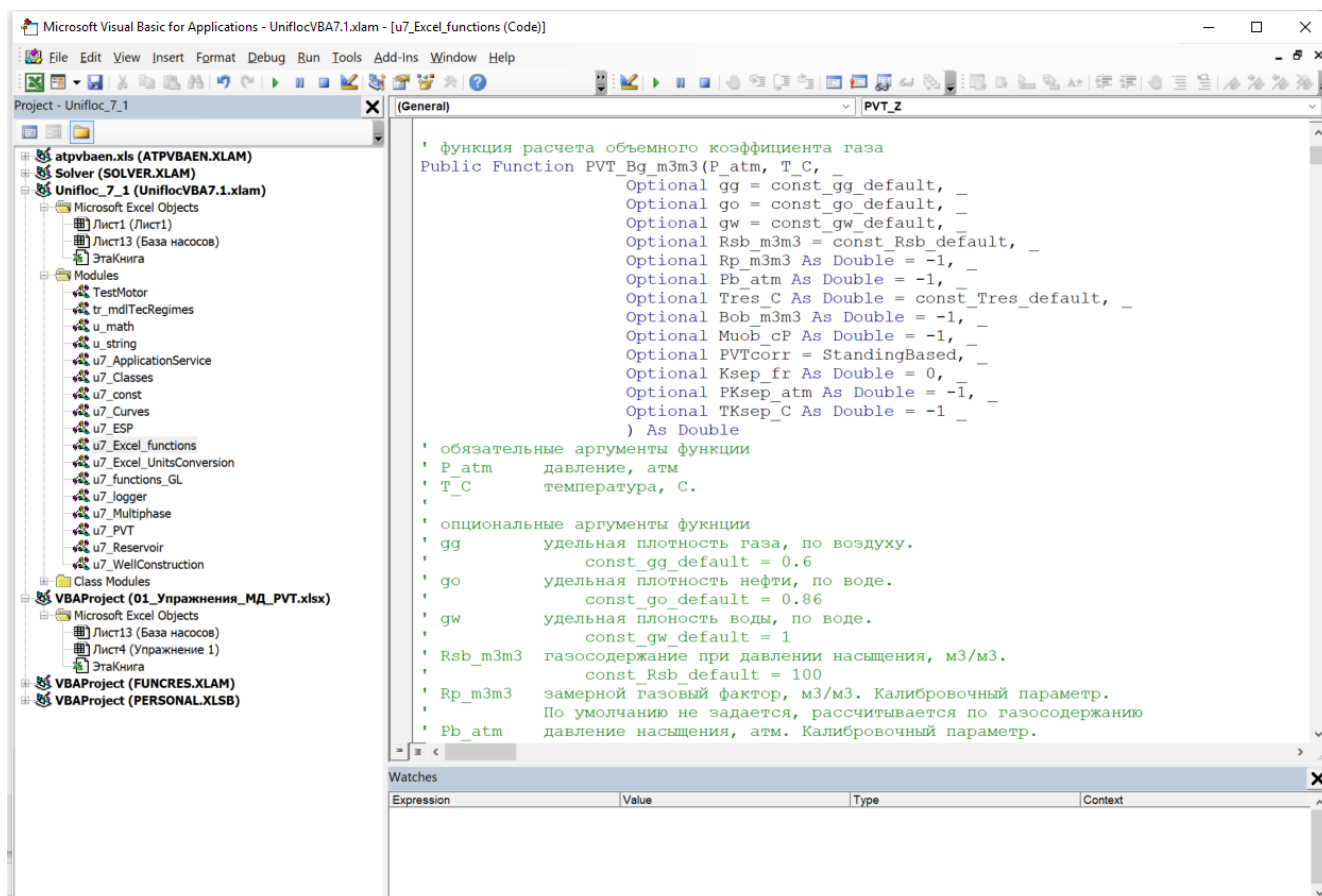


Рис. 1.1 — Окно редактора VBE

### 1.3 Обозначение параметров

При создании макросов в основном использовались международные обозначения переменных принятые в монографиях общества инженеров нефтяников SPE.

## Глава 2. Функции модуля «u7\_Excel\_functions»

### 2.1 Расчёт физико-химических свойств флюидов (PVT)

Для расчёта физико-химических свойств пластовых флюидов используется модель нелетучей нефти. Для всех функций, реализующих расчёт с учётом PVT свойств необходимо задавать одинаковый полный набор параметров, описывающих нефть, газ и воду. При этом для некоторых частных функций не все параметры будут влиять на результат расчёта, тем не менее эти параметры необходимо задавать. Это сделано для унификации методик расчёта – при любом вызове функции проводится расчёт всех свойств модели нелетучей нефти, но возвращаются только необходимые данные. Это обстоятельство может замедлить расчёты с использованием функций Excel.

#### 2.1.1 Обозначения PVT параметров

Типовой набор параметров приведён ниже:

- $\gamma_g$  - gamma\_gas - удельная плотность газа, по воздуху. Стандартное обозначение переменной gamma\_gas. Безразмерная величина. Следует обратить внимание, что удельная плотность газа по воздуху не совпадает с плотностью воздуха в г/см<sup>3</sup>, поскольку плотность воздуха при стандартных условиях `Const const_rho_air = 1.205` при температуре 20 °C и давлении 101325 Па для сухого воздуха. По умолчанию задается значение `const_gg_default = 0.6`
- $\gamma_o$  - gamma\_oil - удельная плотность нефти, по воде. Стандартное обозначение переменной gamma\_oil. Безразмерная величина, но по значению совпадает с плотность в г/см<sup>3</sup>. По умолчанию задаётся значение `const_go_default = 0.86`
- $\gamma_w$  - gamma\_wat- удельная плотность воды, по воде. Стандартное обозначение переменной gamma\_wat. Безразмерная величина, но по значению совпадает с плотность в г/см<sup>3</sup>. По умолчанию задаётся значение

- `const_gw_default = 1` Плотность воды может отличаться от задаваемой по умолчанию, например для воды с большой минерализацией.
- $R_{sb}$ - газосодержание при давлении насыщения, м3/м3. Стандартное обозначение в коде `Rsb_m3m3`. Значение по умолчанию `const_Rsb_default = 100`
  - $R_p$ - замерной газовый фактор, м3/м3. Стандартное обозначение в коде `Rp_m3m3`. Калибровочный параметр. По умолчанию используется значение равное газосодержанию при давлении насыщения. Если задаётся значение меньшее чем газосодержание при давлении насыщения, то последнее принимается равным газовому фактору (приоритет у газового фактора, потому что как правило это замерное значение в отличии от газосодержания определяемого по результатам лабораторных исследований проб нефти).
  - $P_b$  - давление насыщения, атм. Стандартное обозначение в коде `Pb_atm`. Калибровочный параметр. По умолчанию не задаётся, рассчитывается по корреляции. Если задан, то все расчёты по корреляциям корректируются с учётом заданного параметра. При задании давления насыщения обязательно должна быть задана температура пласта – температура при которой было определено давление насыщения.
  - $T_{res}$ - пластовая температура, °C. Стандартное обозначение в коде `Tres_C`. Учитывается при расчёте давления насыщения. По умолчанию принято значение 90 °C.
  - $B_{ob}$  - объёмный коэффициент нефти, м3/м3. Стандартное обозначение в коде `Bob_m3m3`. Калибровочный параметр. По умолчанию рассчитывается по корреляции. Если задан, то все расчёты по корреляциям корректируются с учётом заданного параметра.
  - $\mu_{ob}$  - вязкость нефти при давлении насыщения, сП. Стандартное обозначение `Muob_cP`. Калибровочный параметр. По умолчанию рассчитывается по корреляции. Если задан, то все расчёты по корреляциям корректируются с учётом заданного параметра.
  - PVTcorr - номер набора PVT корреляций используемых для расчёта.
    - StandingBased = 0 - на основе корреляции Стендинга
    - McCainBased = 1 - на основе корреляции Маккейна
    - StraigthLine = 2 - на основе упрощённых зависимостей

- PVTstr - закодированная строка с параметрами PVT. Если задана - перекрывает другие значения. Позволяет задать PVT параметры ссылкой всего на одну ячейку в Excel. Введена для удобства использования функций с большим числом параметров из Excel. Может быть сгенерирована вызовом функции PVT\_Encode\_string.
- $K_s$  – коэффициент сепарации газа. Определяет изменение свойств флюида после отделения части газа из потока в результате сепарации при определённых давлении и температуре. По умолчанию предполагается, что сепарации нет  $K_s=0$ . Для корректного задания свойств флюида после сепарации части газа необходимо также задать параметры  $P_{ksep}$ ,  $T_{ksep}$
- $P_{ksep}$  - Давление при которой произошла сепарация части газа. Необходимо для расчёта свойств флюида с учётом сепарации.
- $T_{ksep}$  - Температура при которой произошла сепарация части газа. Необходимо для расчёта свойств флюида с учётом сепарации.

### 2.1.2 Стандартные условия

Многие параметры нефти, газа и воды существенно зависят от давления и температуры. Например объем занимаемый определённым количеством газа примерно в два раза снизится при повышении давления в два раза.

Поэтому для удобства фиксации и сравнения параметров они часто приводятся к **стандартным или нормальным условиям** - определённым давлениям и температуре.

Принятые в разных дисциплинах и разных организациях точные значения давления и температуры в стандартных условиях могут различаться (смотри например [https://en.wikipedia.org/wiki/Standard\\_conditions\\_for\\_temperature\\_and\\_pressure](https://en.wikipedia.org/wiki/Standard_conditions_for_temperature_and_pressure)), поэтому указание значений физических величин без уточнения условий, в которых они приводятся, может приводить к ошибкам. Наряду с термином «стандартные условия» применяется термин «нормальные условия». «Нормальные условия» обычно отличаются от «стандартных» тем, что под нормальным давлением принимается давление равное  $101\,325\text{ Па} = 1\text{ атм} = 760\text{ мм рт. ст.}$

Обычно в монографиях SPE принято, что стандартное давление для газов, жидкостей и твёрдых тел, равное  $10^5$  Па (100 кПа, 1 бар); стандартная температура для газов, равная  $15.6^\circ\text{C}$  соответствующая  $60^\circ\text{F}$ .

В Российском ГОСТ 2939-63 принято, что стандартное давление для газов, жидкостей и твёрдых тел, равное  $101325$  Па (101325 Па, 1 атм); стандартная температура для газов, равная  $20^\circ\text{C}$  соответствующая  $68^\circ\text{F}$ .

В Unifloc 7.6 VBA приняты следующие значения стандартных условий

```
Public Const const_Psc_atma As Double = 1
Public Const const_Tsc_C = 20
Public Const const_convert_atma_Pa = 101325
```

Листинг 1: Принятые параметры стандартных условий в расчетах

### 2.1.3 PVT\_Pb\_atma – давление насыщения

Функция рассчитывает давление насыщения по известным данным газосодержания при давлении насыщения,  $\gamma_g; \gamma_o; T_r$ .

При проведении расчётов с использованием значения давления насыщения, следует помнить, что давление насыщения является функцией температуры. В частности при калибровке результатов расчётов на известное значение давления насыщения  $P_b$  следует указывать значение пластовой температуры  $T_r$  при котором давление насыщения было получено.

В наборе корреляций на основе корреляции Стендинга расчет давления насыщения проводится по корреляции Стендинга [Yukos\_PVT\_2002]

```
' Расчет давления насыщения
Public Function PVT_Pb_atma(T_C, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go, _
    Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw, _
    Optional ByVal rsb_m3m3 = const_Rsb_default, _
    Optional ByVal Rp_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Pb_atma = -1, _
    Optional ByVal Tres_C = const_Tres_default, _
    Optional ByVal Bob_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Muob_cP = -1, _
```

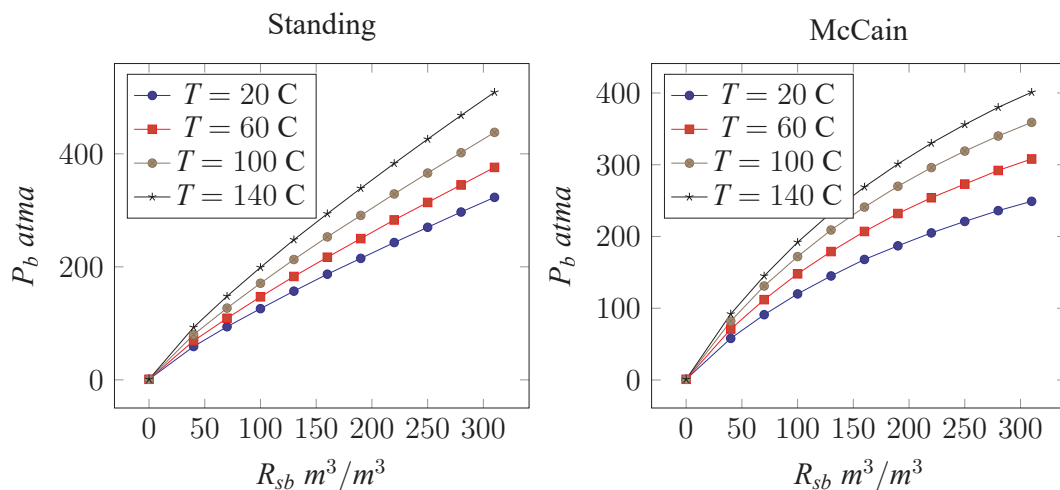
```

        Optional ByVal PVTcorr = StandingBased, _
        Optional ByVal Ksep_fr = 0, _
        Optional ByVal PKsep_atma = -1, _
        Optional ByVal TKsep_C = -1, _
        Optional ByVal PVTstr As String = "" _
    ) As Double
' обязательные аргументы функции
' P_atma      давление, атм
' T_C         температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas   удельная плотность газа, по воздуху.
'              const_gg_ = 0.6
' gamma_oil   удельная плотность нефти, по воде.
'              const_go_ = 0.86
' gamma_wat   удельная плотность воды, по воде.
'              const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3    газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'              const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3     замерной газовый фактор, м3/м3.
'              имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma     Давление насыщения при температуре Tres_C, атма.
'              Опциональный калибровочный параметр,
'              если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C      пластовая температура, С.
'              Учитывается при расчете давления насыщения.
'              const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3    объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP     вязкость нефти при давлении насыщения
'              По умолчанию рассчитывается по корреляции
' PVTcorr     номер набора PVT корреляций для расчета
'              StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'              McCainBased = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'              StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr     коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'              нефти после сепарации доли свободного газа.
'              изменение свойств нефти зависит от условий
'              сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma   давление при которой была сепарация
' TKsep_C      температура при которой была сепарация
' PVTstr       закодированная строка с параметрами PVT.
'              если задана - перекрывает другие значения

```

выходное значение – число – давление насыщения.

Пример расчёта с использованием функции PVT\_Pb\_atma для различных наборов PVT корреляций приведён на рисунке ниже. Видно, что результаты расчетов по различным корреляциям дают качественно схожие результаты, но не совпадают друг с другом. Отличия, по всей видимости, обусловленные применением различных наборов исходных данных использовавшихся авторами. Поэтому при проведении расчетов для конкретного месторождения актуальной является задача выбора адекватного набора корреляций. Макросы Unifloc 7.6 VBA позволяют провести расчет с использованием различных подходов, но при этом выбор корреляции остается за пользователем.



При проведении расчётов с использованием набора корреляций на основе корреляций МакКейна следует учитывать, что они работают только для температур более 18 градусов Цельсия. При более низких значениях температуры расчёт будет проводиться для 18 градусов Цельсия.

#### 2.1.4 PVT\_Rs\_m3m3 – газосодержание

Газосодержание это отношения объёма газа растворенного в нефти к объёму нефти приведённые к стандартным условиям.

$$R_s = \frac{(V_g)_{sc}}{(V_o)_{sc}}$$



Газосодержание является одним из ключевых свойств нефти при расчётах производительности скважин и работы скважинного оборудования. Динамика изменения газосодержания во многом определяет количество свободного газа в потоке и должна учитываться при проведении расчётов.

При задании PVT свойств нефти часто используют значение газосодержания при давлении насыщения  $r_{sb}$  - определяющее объем газа растворенного в нефти в пластовых условиях. В модели флюида Unifloc 7.6 VBA газосодержание при давлении насыщения является исходным параметром нефти и должно быть обязательно задано.

Следует отличать газосодержание в нефти при давлении насыщения  $R_{sb}$  и газовый фактор  $R_p$ .

$$R_p = \frac{(Q_g)_{sc}}{(Q_o)_{sc}}$$

Газовый фактор  $R_p$  в отличии от газосодержания  $R_{sb}$  является, вообще говоря, параметром скважины - показывает отношение объёма добытого газа из скважины к объёму добытой нефти приведённые к стандартным условиям. Газосодержание же является свойством нефти - показывает сколько газа растворено в нефти. Если газ добываемой из скважины это газ который выделился из нефти в процессе подъёма, что характерно для недонасыщенных нефтей, то значения газового фактора и газосодержания будут совпадать. Если газ поступает в скважину не непосредственно из добываемой нефти, а например фильтруется из газовой шапки или поступает через негерметичность ствола скважины - то в такой скважине газовый фактор может значительно превышать значение газосодержания. Такая ситуация может быть смоделирована в Unifloc 7.6 VBA . Для этого необходимо наряду с газосодержанием при давлении насыщения  $R_{sb}$  задать значение газового фактора  $R_p$ . В этом случае газосодержание при давлении насыщения  $R_{sb}$  будет определять динамику выделения попутного газа из нефти при снижении давления, а газовый фактор  $R_p$  определять общее количество газа в потоке.

При определённых условиях газовый фактор может быть меньше газосодержания. Это происходит, когда газ выделяется в призабойной зоне и скапливается в ней не поступая в скважину вместе с нефтью. Но такие условия возникают достаточно редко, существуют на скважине ограниченное время и представляют интерес больше для разработчиков нежели чем для технологов. С точки зрения



анализа работы скважины и скважинного оборудования можно считать, что значение газового фактора не может быть меньше газосодержания при давлении насыщения. Такой предположение реализовано в Unifloc 7.6 VBA . При этом значение газового фактора технически легче измерить чем газосодержание - поэтому при противоречии значений газового фактора и газосодержания при давлении насыщения приоритет отдаётся газовому фактору.

```
' расчет газосодержания
Public Function PVT_Rs_m3m3(P_atma, T_C, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg_, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go_, _
    Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw_, _
    Optional ByVal rsb_m3m3 = const_Rsb_default, _
    Optional ByVal Rp_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Pb_atma = -1, _
    Optional ByVal Tres_C = const_Tres_default, _
    Optional ByVal Bob_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Muob_cP = -1, _
    Optional ByVal PVTcorr = StandingBased, _
    Optional ByVal Ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal PKsep_atma = -1, _
    Optional ByVal TKsep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
) As Double

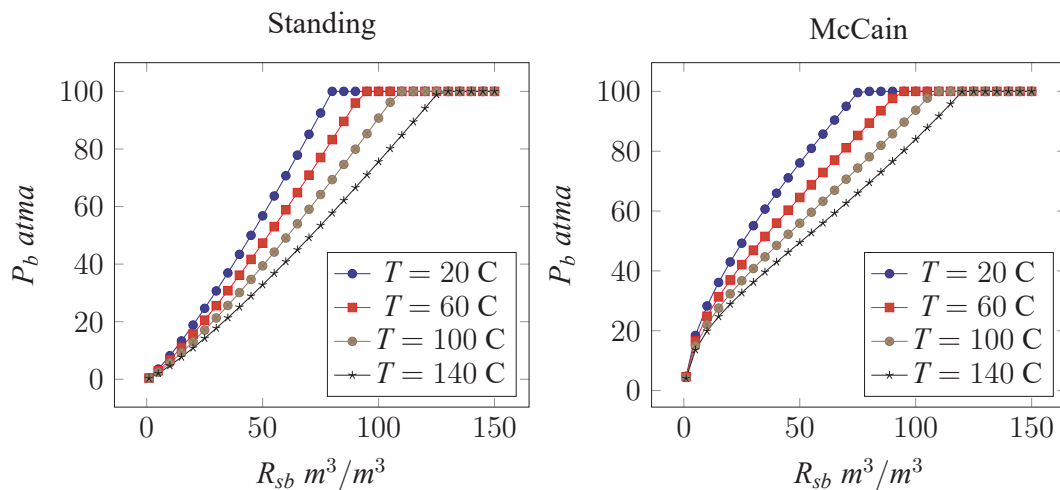
' обязательные аргументы функции
' P_atma      давление, атм
' T_C         температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas  удельная плотность газа, по воздуху.
'             const_gg_ = 0.6
' gamma_oil  удельная плотность нефти, по воде.
'             const_go_ = 0.86
' gamma_wat  удельная плотность воды, по воде.
'             const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3   газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'             const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3    замерной газовый фактор, м3/м3.
'             имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma    Давление насыщения при температуре Tres_C, атма.
'             Опциональный калибровочный параметр,
'             если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C     пластовая температура, С.
```

```

'          Учитывается при расчете давления насыщения.
'          const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3  объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP   вязкость нефти при давлении насыщения
'          По умолчанию рассчитывается по корреляции
' PVTcorr   номер набора PVT корреляций для расчета
'          StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'          McCainBased = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'          StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr   коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'          нефти после сепарации доли свободного газа.
'          изменение свойств нефти зависит от условий
'          сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma  давление при которой была сепарация
' TKsep_C     температура при которой была сепарация
' PVTstr      закодированная строка с параметрами PVT.
'          если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число - газосодержание при
'          заданных термобарических условиях, м3/м3.

```

Примеры расчёта с использованием функции PVT\_Rs\_m3m3 для различных наборов PVT корреляций приведён на рисунке ниже.



### 2.1.5 PVT\_Vo\_m3m3 – объёмный коэффициент нефти

Функция рассчитывает объёмный коэффициент нефти для произвольных термобарических условий. Объёмный коэффициент нефти определяется как отно-

шение объёма занимаемого нефтью в пластовых условиях к объёму занимаемому нефтью при стандартных условиях.

$$B_o = \frac{(V_o)_{rc}}{(V_o)_{sc}}$$

Нефть в пласте занимает больший объем чем на поверхности за счёт растворенного в ней газа. Соответственно объёмный коэффициент нефти обычно имеет значение больше 1 при давлениях больше чем стандартное.

Для калибровки значения объёмного коэффициента можно использовать значение объёмного коэффициента нефти при давлении насыщения  $B_{ob}$ .

Следует отметить, что вообще говоря значение объёмного коэффициента нефти при давлении насыщения не является значением при пластовых условиях (при давлении выше давления насыщения играет роль сжимаемость нефти), однако при анализе производительности скважины и скважинного оборудования можно условно считать, что значение объёмного коэффициента при давлении насыщения соответствует значению объёмного коэффициента в пластовых условиях.

```
' расчет объемного коэффициента нефти
Public Function PVT_Bo_m3m3(P_atma, T_C, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go, _
    Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw, _
    Optional ByVal rsb_m3m3 = const_Rsb_default, _
    Optional ByVal Rp_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Pb_atma = -1, _
    Optional ByVal Tres_C = const_Tres_default, _
    Optional ByVal Bob_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Muob_cP = -1, _
    Optional ByVal PVTcorr = StandingBased, _
    Optional ByVal Ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal PKsep_atma = -1, _
    Optional ByVal TKsep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
) As Double

' обязательные аргументы функции
' P_atma      давление, атм
' T_C         температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas  удельная плотность газа, по воздуху.
```

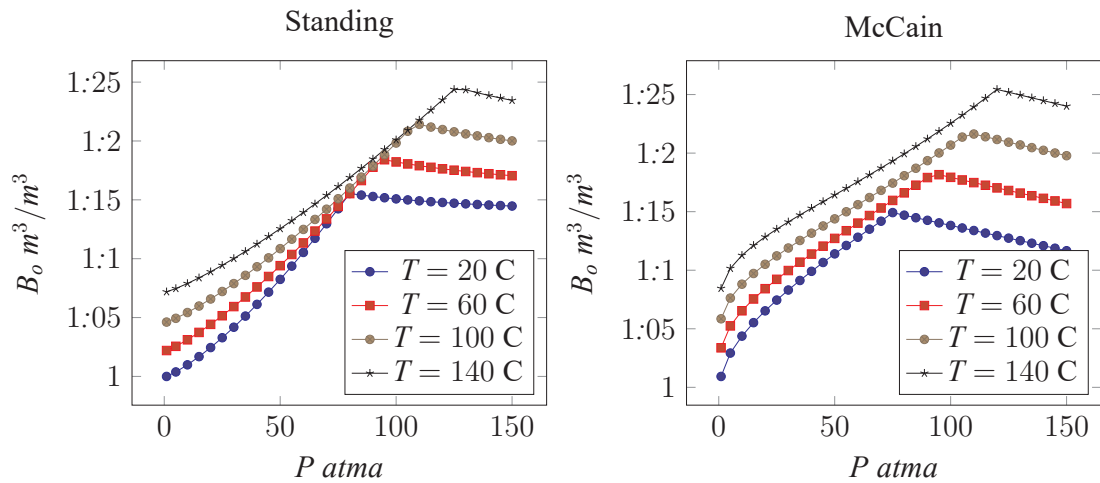
```

'          const_gg_ = 0.6
' gamma_oil удельная плотность нефти, по воде.
'          const_go_ = 0.86
' gamma_wat удельная плотность воды, по воде.
'          const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3 газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'          const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3 замерной газовый фактор, м3/м3.
'          имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma Давление насыщения при температуре Tres_C, атма.
'          Опциональный калибровочный параметр,
'          если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C пластовая температура, С.
'          Учитывается при расчете давления насыщения.
'          const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3 объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP вязкость нефти при давлении насыщения
'          По умолчанию рассчитывается по корреляции
' PVTcorr номер набора PVT корреляций для расчета
'          StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'          McCainBased = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'          StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'          нефти после сепарации доли свободного газа.
'          изменение свойств нефти зависит от условий
'          сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma давление при которой была сепарация
' TKsep_C температура при которой была сепарация
' PVTstr закодированная строка с параметрами PVT.
'          если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число
' Возвращает значение объемного коэффициента нефти, м3/м3
' для заданных термобарических условий.
' В основе расчета корреляции PVT

```

Примеры расчёта с использованием функции PVT\_Bo\_m3m3 для различных наборов PVT корреляций приведён на рисунке ниже.

Объёмный коэффициент нефти хорошо коррелирует со значением газосодержания. Поэтому различный вид кривых на рисунке ниже связан с первую очередь с различным газосодержанием при проведении расчётов.



### 2.1.6 PVT\_Bg\_m3m3 – объёмный коэффициент газа

Функция рассчитывает объёмный коэффициент нефтяного газа для произвольных термобарических условий.

Объёмный коэффициент газа определяется как отношение объема занимаемого газом для произвольных термобарических условий (при определенном давлении и температуре) к объёму занимаемому газом при стандартных условиях.

$$B_g = \frac{V_g(P;T)}{(V_g)_{sc}}$$

Значение объемного коэффициента газа может быть определено исходя из уравнения состояния газа

$$PV = z\nu RT$$

откуда можно получить

$$B_g = z \frac{P_{sc}}{P} \frac{T}{T_{sc}}$$

где  $P_{sc}$ ;  $T_{sc}$  давление (атм) и температура (К) при стандартных условиях,  $P$ ;  $T$  давление (атм) и температура (К) при расчетных условиях,  $z$  коэффициент сверхсжимаемости газа, который вообще говоря зависит от давления и температуры  $z = z(P;T)$ .

```

' функция расчета объемного коэффициента газа
Public Function PVT_Bg_m3m3(P_atma, T_C, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg_, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go_, _
    Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw_, _
    Optional ByVal rsb_m3m3 = const_Rsb_default, _
    Optional ByVal Rp_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Pb_atma = -1, _
    Optional ByVal Tres_C = const_Tres_default, _
    Optional ByVal Bob_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Muob_cP = -1, _
    Optional ByVal PVTcorr = StandingBased, _
    Optional ByVal Ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal PKsep_atma = -1, _
    Optional ByVal TKsep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
) As Double

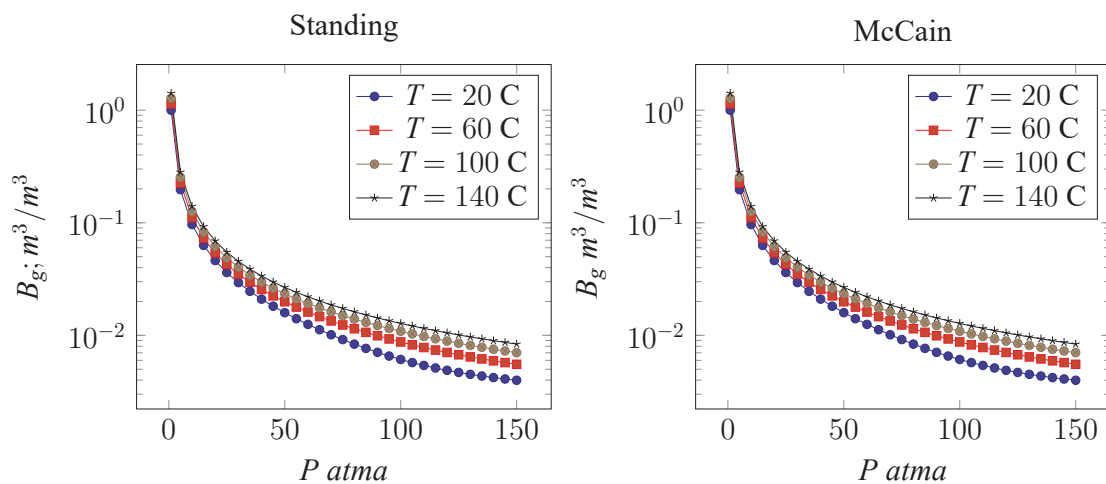
' обязательные аргументы функции
' P_atma      давление, атм
' T_C         температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas  удельная плотность газа, по воздуху.
'             const_gg_ = 0.6
' gamma_oil  удельная плотность нефти, по воде.
'             const_go_ = 0.86
' gamma_wat  удельная плотность воды, по воде.
'             const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3   газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'             const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3    замерной газовый фактор, м3/м3.
'             имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma    Давление насыщения при температуре Tres_C, атма.
'             Опциональный калибровочный параметр,
'             если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C     пластовая температура, С.
'             Учитывается при расчете давления насыщения.
'             const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3   объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP    вязкость нефти при давлении насыщения
'             По умолчанию рассчитывается по корреляции
' PVTcorr     номер набора PVT корреляций для расчета
'             StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга

```

```

'      McCainBased = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'      StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr      коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'             нефти после сепарации доли свободного газа.
'             изменение свойств нефти зависит от условий
'             сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma   давление при которой была сепарация
' TKsep_C      температура при которой была сепарация
' PVTstr       закодированная строка с параметрами PVT.
'             если задана - перекрывает другие значения
'
' Возвращает значение объемного коэффициента газа, м3/м3
' для заданных термобарических условий.
' В основе расчета корреляция для z фактора

```



### 2.1.7 PVT\_Bw\_m3m3 – объёмный коэффициент воды

Функция рассчитывает объёмный коэффициент воды для произвольных термобарических условий.

Объёмный коэффициент воды определяется как отношение объёма занимаемого водой для произвольных термобарических условий (при определённом давлении и температуре) к объёму занимаемому водой при стандартных условиях.

$$B_w = \frac{V_w(P;T)}{(V_w)_{sc}}$$

```

' расчет объемного коэффициента воды
Public Function PVT_Bw_m3m3(P_atma, T_C, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg_, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go_, _
    Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw_, _
    Optional ByVal rsb_m3m3 = const_Rsb_default, _
    Optional ByVal Rp_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Pb_atma = -1, _
    Optional ByVal Tres_C = const_Tres_default, _
    Optional ByVal Bob_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Muob_cP = -1, _
    Optional ByVal PVTcorr = StandingBased, _
    Optional ByVal Ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal PKsep_atma = -1, _
    Optional ByVal TKsep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
) As Double

' обязательные аргументы функции
' P_atma      давление, атм
' T_C         температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas  удельная плотность газа, по воздуху.
'             const_gg_ = 0.6
' gamma_oil  удельная плотность нефти, по воде.
'             const_go_ = 0.86
' gamma_wat  удельная плотность воды, по воде.
'             const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3   газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'             const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3    замерной газовый фактор, м3/м3.
'             имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma    Давление насыщения при температуре Tres_C, атма.
'             Опциональный калибровочный параметр,
'             если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C     пластовая температура, С.
'             Учитывается при расчете давления насыщения.
'             const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3   объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP    вязкость нефти при давлении насыщения
'             По умолчанию рассчитывается по корреляции
' PVTcorr    номер набора PVT корреляций для расчета
'             StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга

```



```

'          McCainBased = 1 - на основе корр-ии Маккейна
'          StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr      коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'             нефти после сепарации доли свободного газа.
'             изменение свойств нефти зависит от условий
'             сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma   давление при которой была сепарация
' TKsep_C      температура при которой была сепарация
' PVTstr       закодированная строка с параметрами PVT.
'             если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число
' Возвращает значение объемного коэффициента воды, м3/м3
' для заданных термобарических условий.

```

### 2.1.8 PVT\_Muo\_cP – вязкость нефти

Функция рассчитывает вязкость нефти при заданных термобарических условиях по корреляции. Расчёт может быть откалиброван на известное значение вязкости нефти при давлении равном давлению насыщения и при пластовой температуре за счёт задания калибровочного параметра  $\mu_{ob\_cP}$ . При калибровке динамика изменения будет соответствовать расчету по корреляции, но значения будут масштабированы таким образом, чтобы при давлении насыщения удовлетворить калибровочному параметру.

При расчёте следует обратить внимание, что значение вязкости коррелирует со значением плотности нефти. Как правило вязкость тяжёлых нефтей выше чем для легких.

При расчёте с использованием набора корреляций на основе корреляции Стендинга - вязкость как дегазированной нефти и нефти с учетом растворенного газа рассчитывается по корреляции Беггса Робинсона [Yukos\_PVT\_2002]. Корреляции для расчета вязкости разгазированной и газонасыщенной нефти, разработанные Beggs & Robinson, основаны на 2000 замерах 600 различных нефтей. Диапазоны значений основных свойств, использованных для разработки данной корреляции, приведены в таблице ниже.

давление, атма	8.96...483.
температура, °C	37...127
газосодержание, $R_s$ , $m^3/m^3$	3.6...254
относительная плотность нефти по воде, $\gamma_o$	0.725...0.956

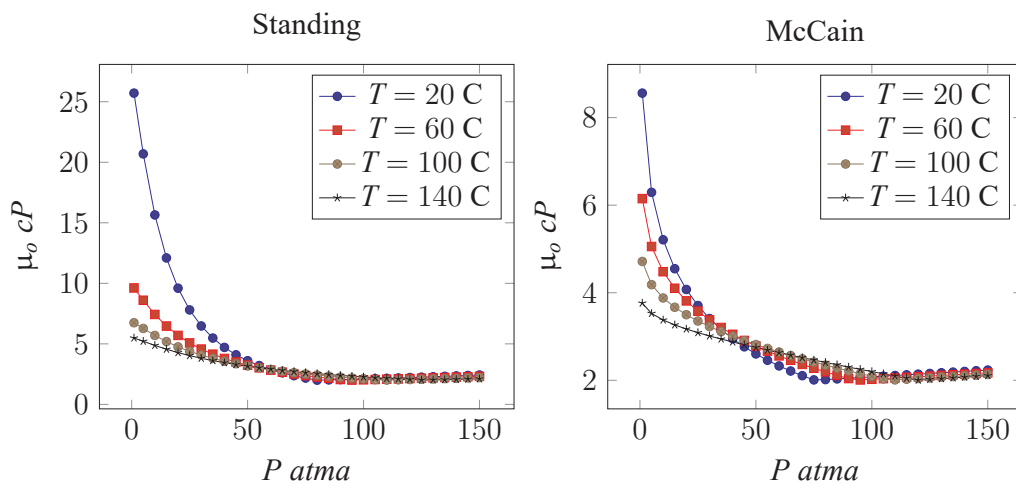
```
' расчет вязкости нефти
Public Function PVT_Muo_cP(P_atma, T_C, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg_, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go_, _
    Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw_, _
    Optional ByVal rsb_m3m3 = const_Rsb_default, _
    Optional ByVal Rp_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Pb_atma = -1, _
    Optional ByVal Tres_C = const_Tres_default, _
    Optional ByVal Bob_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Muob_cP = -1, _
    Optional ByVal PVTcorr = StandingBased, _
    Optional ByVal Ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal PKsep_atma = -1, _
    Optional ByVal TKsep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
) As Double

' обязательные аргументы функции
' P_atma    давление, атм
' T_C      температура, C.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas удельная плотность газа, по воздуху.
'           const_gg_ = 0.6
' gamma_oil удельная плотность нефти, по воде.
'           const_go_ = 0.86
' gamma_wat удельная плотность воды, по воде.
'           const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3  газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'           const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3   замерной газовый фактор, м3/м3.
'           имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma   Давление насыщения при температуре Tres_C, атма.
'           Опциональный калибровочный параметр,
'           если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C    пластовая температура, C.
'           Учитывается при расчете давления насыщения.
```

```

'          const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3  объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP   вязкость нефти при давлении насыщения
'           По умолчанию рассчитывается по корреляции
' PVTcorr   номер набора PVT корреляций для расчета
'           StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'           McCainBased = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'           StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr   коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'           нефти после сепарации доли свободного газа.
'           изменение свойств нефти зависит от условий
'           сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma  давление при которой была сепарация
' TKsep_C     температура при которой была сепарация
' PVTstr      закодированная строка с параметрами PVT.
'           если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число - вязкость нефти
'           при заданных термобарических условиях, сП

```



### 2.1.9 PVT\_Mug\_cP – вязкость газа

Функция рассчитывает вязкость газа при заданных термобарических условиях. Результат расчета в сП. Используется подход предложенный Lee [Lee\_1966], который хорошо подходит для большинства натуральных газов. В отличие от нефти и других жидкостей вязкость газа, как правило, значительно ниже, что

определяет высокую подвижность газа. Более подробное описание методов расчета вязкости газа можно найти на странице [http://petrowiki.org/gas\\_viscosity](http://petrowiki.org/gas_viscosity)

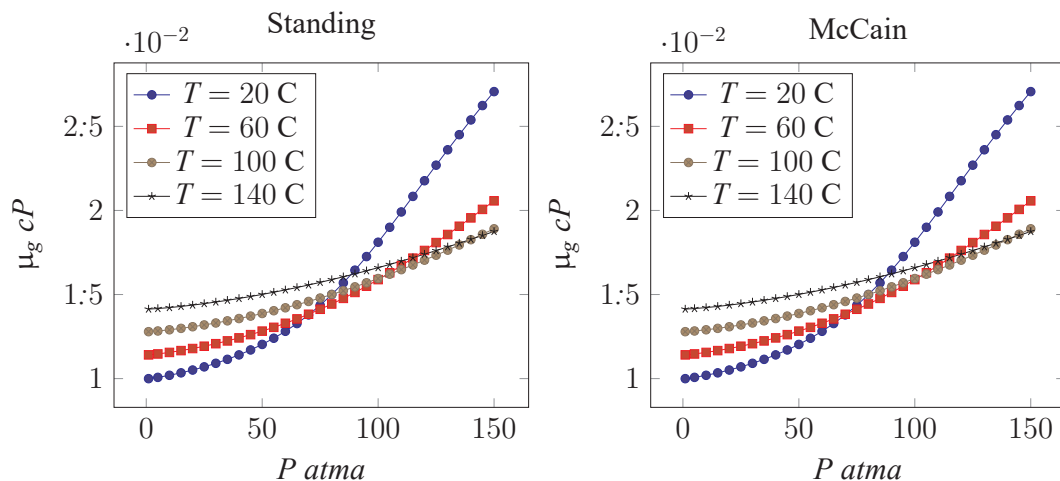
```
' расчет вязкости газа
Public Function PVT_Mug_cP(P_atma, T_C, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg_, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go_, _
    Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw_, _
    Optional ByVal rsb_m3m3 = const_Rsb_default, _
    Optional ByVal Rp_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Pb_atma = -1, _
    Optional ByVal Tres_C = const_Tres_default, _
    Optional ByVal Bob_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Muob_cP = -1, _
    Optional ByVal PVTcorr = StandingBased, _
    Optional ByVal Ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal PKsep_atma = -1, _
    Optional ByVal TKsep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
) As Double

' обязательные аргументы функции
' P_atma      давление, атм
' T_C         температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas  удельная плотность газа, по воздуху.
'             const_gg_ = 0.6
' gamma_oil  удельная плотность нефти, по воде.
'             const_go_ = 0.86
' gamma_wat  удельная плотность воды, по воде.
'             const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3   газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'             const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3    замерной газовый фактор, м3/м3.
'             имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma    Давление насыщения при температуре Tres_C, атм.
'             Опциональный калибровочный параметр,
'             если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C     пластовая температура, С.
'             Учитывается при расчете давления насыщения.
'             const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3   объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP    вязкость нефти при давлении насыщения
'             По умолчанию рассчитывается по корреляции
```

```

' PVTcorr      номер набора PVT корреляций для расчета
'
'               StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'               McCainBased = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'               StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr      коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'               нефти после сепарации доли свободного газа.
'               изменение свойств нефти зависит от условий
'               сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma   давление при которой была сепарация
' TKsep_C      температура при которой была сепарация
' PVTstr       закодированная строка с параметрами PVT.
'               если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число - вязкость газа
'               при заданных термобарических условиях, сП

```



### 2.1.10 PVT\_Muw\_cP – вязкость воды

Функция рассчитывает вязкость воды при заданных термобарических условиях. Результат расчета выдается в сП. Вязкость воды зависит от давления, температуры и наличия растворенных примесей. В общем вязкость воды растет при росте давления, снижении температуры, повышении солёности. Растворение газа почти не влияет на вязкость воды и в расчетах не учитывается. Расчет проводится по корреляции McCain [McCain\_1991]

Более подробное описание методов расчета вязкости газа можно найти на странице [http://petrowiki.org/Produced\\_water\\_properties](http://petrowiki.org/Produced_water_properties)

```

' расчет вязкости воды
Public Function PVT_Muw_cP(P_atma, T_C, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg_, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go_, _
    Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw_, _
    Optional ByVal rsb_m3m3 = const_Rsb_default, _
    Optional ByVal Rp_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Pb_atma = -1, _
    Optional ByVal Tres_C = const_Tres_default, _
    Optional ByVal Bob_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Muob_cP = -1, _
    Optional ByVal PVTcorr = StandingBased, _
    Optional ByVal Ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal PKsep_atma = -1, _
    Optional ByVal TKsep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
) As Double

' обязательные аргументы функции
' P_atma      давление, атм
' T_C         температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas  удельная плотность газа, по воздуху.
'             const_gg_ = 0.6
' gamma_oil  удельная плотность нефти, по воде.
'             const_go_ = 0.86
' gamma_wat  удельная плотность воды, по воде.
'             const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3   газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'             const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3    замерной газовый фактор, м3/м3.
'             имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma    Давление насыщения при температуре Tres_C, атма.
'             Опциональный калибровочный параметр,
'             если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C     пластовая температура, С.
'             Учитывается при расчете давления насыщения.
'             const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3   объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP    вязкость нефти при давлении насыщения
'             По умолчанию рассчитывается по корреляции
' PVTcorr    номер набора PVT корреляций для расчета
'             StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга

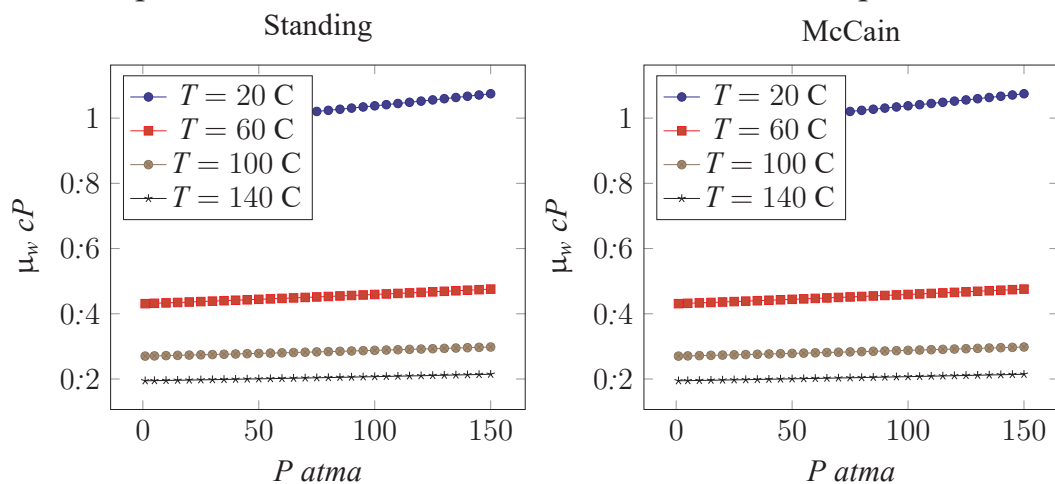
```

```

'          McCainBased = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'          StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr    коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'            нефти после сепарации доли свободного газа.
'            изменение свойств нефти зависит от условий
'            сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma  давление при которой была сепарация
' TKsep_C     температура при которой была сепарация
' PVTstr      закодированная строка с параметрами PVT.
'            если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число - вязкость воды
'            при заданных термобарических условиях, сП

```

Следует отметить, что вязкость воды достаточно сильно зависит от температуры, в то время как зависимость от давления менее выражена.



### 2.1.11 PVT\_Rhoo\_kgm3 – плотность нефти

Функция вычисляет значение плотности нефти при заданных термобарических условиях. Результат расчета имеет размерность кг/м<sup>3</sup>.

```

' расчет плотности нефти
Public Function PVT_Rhoo_kgm3(P_atma, T_C, _
                                Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg, _
                                Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go, _
                                Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw, _

```

```

Optional ByVal rsb_m3m3 = const_Rsb_default, _
Optional ByVal Rp_m3m3 = -1, _
Optional ByVal Pb_atma = -1, _
Optional ByVal Tres_C = const_Tres_default, _
Optional ByVal Bob_m3m3 = -1, _
Optional ByVal Muob_cP = -1, _
Optional ByVal PVTcorr = StandingBased, _
Optional ByVal Ksep_fr = 0, _
Optional ByVal PKsep_atma = -1, _
Optional ByVal TKsep_C = -1, _
Optional ByVal PVTstr As String = "" _
) As Double
' обязательные аргументы функции
' P_atma      давление, атм
' T_C        температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas  удельная плотность газа, по воздуху.
'             const_gg_ = 0.6
' gamma_oil  удельная плотность нефти, по воде.
'             const_go_ = 0.86
' gamma_wat  удельная плотность воды, по воде.
'             const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3   газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'             const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3    замерной газовый фактор, м3/м3.
'             имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma    Давление насыщения при температуре Tres_C, атма.
'             Опциональный калибровочный параметр,
'             если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C     пластовая температура, С.
'             Учитывается при расчете давления насыщения.
'             const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3   объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP    вязкость нефти при давлении насыщения
'             По умолчанию рассчитывается по корреляции
' PVTcorr     номер набора PVT корреляций для расчета
'             StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'             McCainBased = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'             StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr     коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'             нефти после сепарации доли свободного газа.
'             изменение свойств нефти зависит от условий

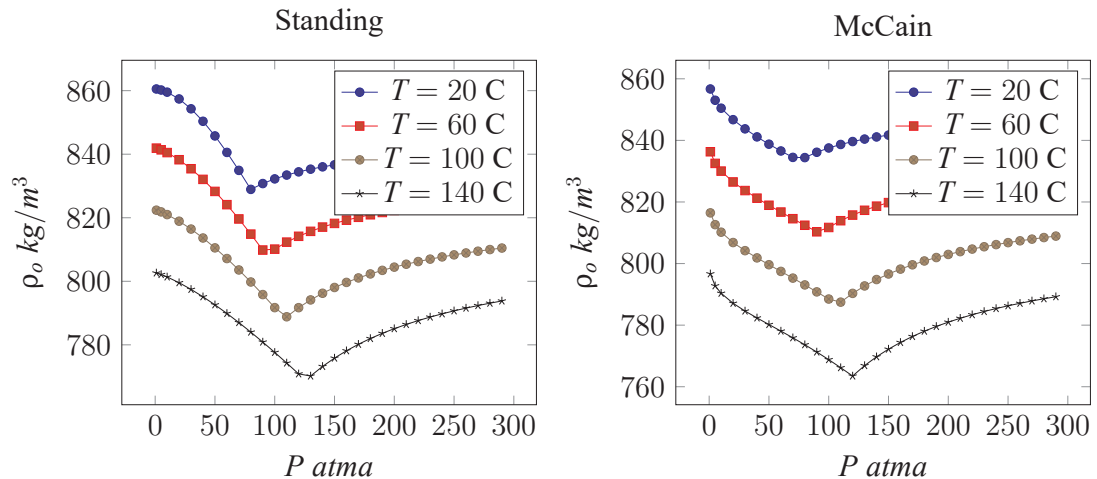
```



```

'      сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma      давление при которой была сепарация
' TKsep_C        температура при которой была сепарация
' PVTstr         закодированная строка с параметрами PVT.
'
'      если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число - плотность нефти
'
'      при заданных термобарических условиях, кг/м3.

```



### 2.1.12 PVT\_Rhog\_kgm3 – плотность газа

```

' расчет плотности газа
Public Function PVT_Rhog_kgm3(P_atma, T_C, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go, _
    Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw, _
    Optional ByVal rsb_m3m3 = const_Rsb_default, _
    Optional ByVal Rp_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Pb_atma = -1, _
    Optional ByVal Tres_C = const_Tres_default, _
    Optional ByVal Bob_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Muob_cP = -1, _
    Optional ByVal PVTcorr = StandingBased, _
    Optional ByVal Ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal PKsep_atma = -1, _
    Optional ByVal TKsep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _

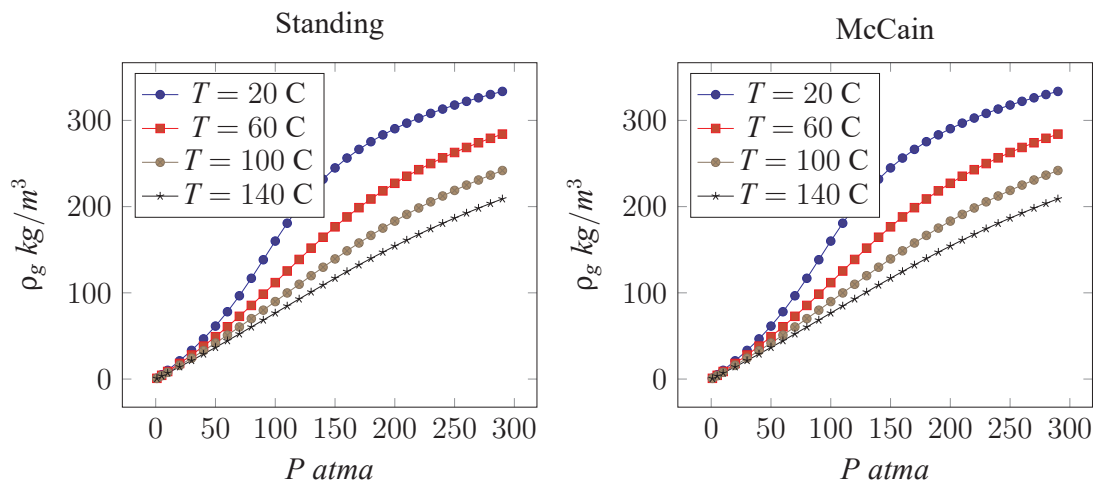
```

```

) As Double

' обязательные аргументы функции
' P_atma      давление, атм
' T_C         температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas   удельная плотность газа, по воздуху.
'              const_gg_ = 0.6
' gamma_oil   удельная плотность нефти, по воде.
'              const_go_ = 0.86
' gamma_wat   удельная плотность воды, по воде.
'              const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3    газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'              const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3     замерной газовый фактор, м3/м3.
'              имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma     Давление насыщения при температуре Tres_C, атма.
'              Опциональный калибровочный параметр,
'              если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C      пластовая температура, С.
'              Учитывается при расчете давления насыщения.
'              const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3    объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP     вязкость нефти при давлении насыщения
'              По умолчанию рассчитывается по корреляции
' PVTcorr     номер набора PVT корреляций для расчета
'              StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'              McCainBased = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'              StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr     коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'              нефти после сепарации доли свободного газа.
'              изменение свойств нефти зависит от условий
'              сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma   давление при которой была сепарация
' TKsep_C      температура при которой была сепарация
' PVTstr       закодированная строка с параметрами PVT.
'              если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число - плотность газа
'              при заданных термобарических условиях, кг/м3.

```



### 2.1.13 PVT\_Rhow\_kgm3 – плотность воды

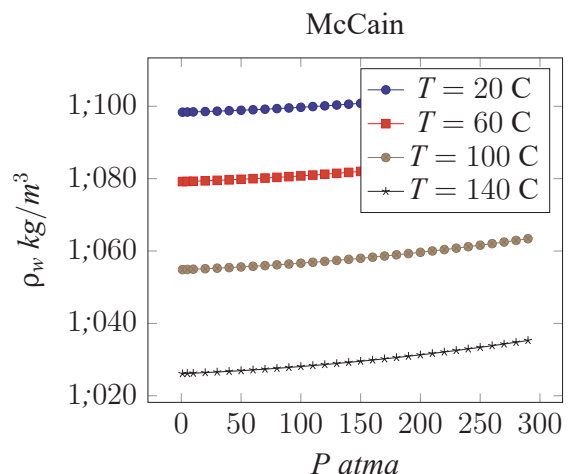
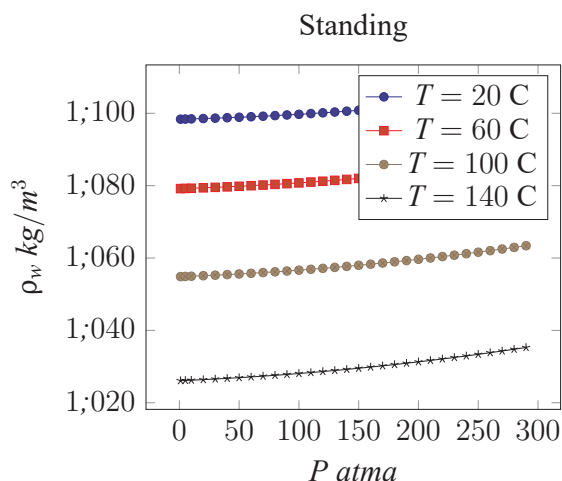
```
' расчет плотности воды
Public Function PVT_Rhow_kgm3(P_atma, T_C, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg_, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go_, _
    Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw_, _
    Optional ByVal rsb_m3m3 = const_Rsb_default, _
    Optional ByVal Rp_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Pb_atma = -1, _
    Optional ByVal Tres_C = const_Tres_default, _
    Optional ByVal Bob_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Muob_cP = -1, _
    Optional ByVal PVTcorr = StandingBased, _
    Optional ByVal Ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal PKsep_atma = -1, _
    Optional ByVal TKsep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
) As Double

' обязательные аргументы функции
' P_atma    давление, атм
' T_C       температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas удельная плотность газа, по воздуху.
'           const_gg_ = 0.6
' gamma_oil удельная плотность нефти, по воде.
```

```

'          const_go_ = 0.86
' gamma_wat удельная плотность воды, по воде.
'          const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3 газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'          const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3 замерной газовой фактор, м3/м3.
'          имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma Давление насыщения при температуре Tres_C, атма.
'          Опциональный калибровочный параметр,
'          если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C пластовая температура, С.
'          Учитывается при расчете давления насыщения.
'          const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3 объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP вязкость нефти при давлении насыщения
'          По умолчанию рассчитывается по корреляции
' PVTcorr номер набора PVT корреляций для расчета
'          StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'          McCainBased = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'          StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'          нефти после сепарации доли свободного газа.
'          изменение свойств нефти зависит от условий
'          сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma давление при которой была сепарация
' TKsep_C температура при которой была сепарация
' PVTstr закодированная строка с параметрами PVT.
'          если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число - плотность воды
'          при заданных термобарических условиях, кг/м3.

```



### 2.1.14 PVT\_Z – коэффициент сверхсжимаемости газа

Функция позволяет рассчитать коэффициент сверхсжимаемости газа.

$$PV = z\nu RT$$

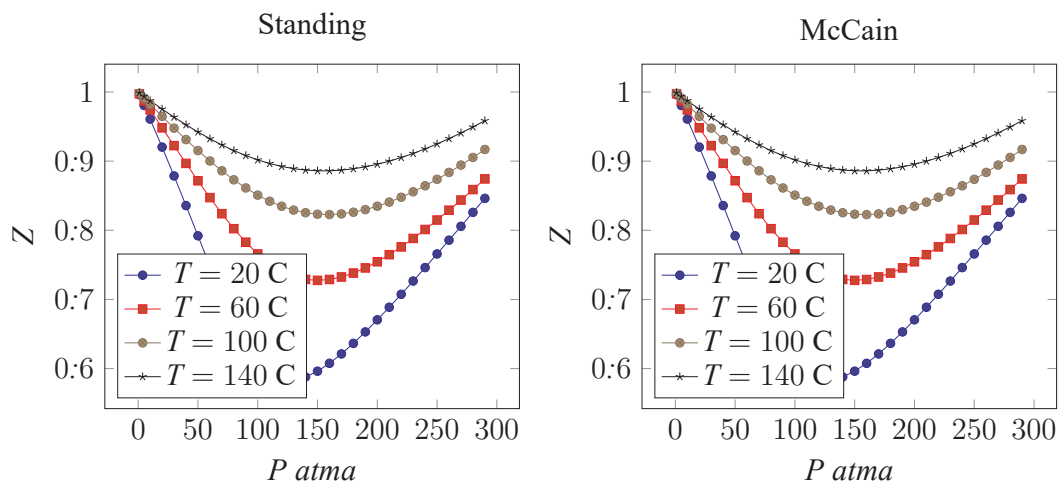
```
' расчет коэффициента сверхсжимаемости газа
Public Function PVT_Z(P_atma, T_C, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg_, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go_, _
    Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw_, _
    Optional ByVal rsb_m3m3 = const_Rsb_default, _
    Optional ByVal Rp_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Pb_atma = -1, _
    Optional ByVal Tres_C = const_Tres_default, _
    Optional ByVal Bob_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Muob_cP = -1, _
    Optional ByVal PVTcorr = StandingBased, _
    Optional ByVal Ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal PKsep_atma = -1, _
    Optional ByVal TKsep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
) As Double

' обязательные аргументы функции
' P_atma    давление, атм
' T_C      температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas удельная плотность газа, по воздуху.
'           const_gg_ = 0.6
' gamma_oil удельная плотность нефти, по воде.
'           const_go_ = 0.86
' gamma_wat удельная плотность воды, по воде.
'           const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3  газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'           const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3   замерной газовый фактор, м3/м3.
'           имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma   Давление насыщения при температуре Tres_C, атма.
'           Опциональный калибровочный параметр,
'           если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C    пластовая температура, С.
```

```

'          Учитывается при расчете давления насыщения.
'          const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3  объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP   вязкость нефти при давлении насыщения
'          По умолчанию рассчитывается по корреляции
' PVTcorr   номер набора PVT корреляций для расчета
'          StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'          McCainBased = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'          StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr   коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'          нефти после сепарации доли свободного газа.
'          изменение свойств нефти зависит от условий
'          сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma  давление при которой была сепарация
' TKsep_C     температура при которой была сепарация
' PVTstr      закодированная строка с параметрами PVT.
'          если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число - z фактор газа.
'          коэффициент сверхсжимаемости газа,
'          безразмерная величина

```



## 2.2 Расчёт свойств потока

### 2.2.1 MF\_Qmix\_m3day – расход газожидкостной смеси

Функция позволяет рассчитать объемный расход газожидкостной смеси при заданных термобарических условиях.

$$Q_{mix} = Q_w B_w(P;T) + Q_o B_o(P;T) + Q_o (R_p - R_s(P;T)) B_g(P;T)$$

```
' расчет объемного расхода газожидкостной смеси для заданных
,→ термобарических условий
Public Function MF_Qmix_m3day(ByVal Qliq_m3day As Double, _
                                ByVal fw_perc As Double, _
                                ByVal P_atma As Double, _
                                ByVal T_C As Double, _
                                Optional ByVal PVTstr As String = "") As
                                ,→ Double

' обязательные аргументы функции
' Qliq_m3day дебит жидкости на поверхности
' wc_perc    объемная обводненность
' P_atma     давление, атм
' T_C        температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' PVTstr     encoded to string PVT properties of fluid
' PVTstr     закодированная строка с параметрами PVT.
'            если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число - объемный расход ГЖС, м3/сут.
```

### 2.2.2 MF\_Rhomix\_kgm3 – плотность газожидкостной смеси

Функция позволяет рассчитать плотность газожидкостной смеси при заданных термобарических условиях.

```

' расчет плотности газожидкостной смеси для заданных условий
Public Function MF_Rhomix_kgm3(ByVal Qliq_m3day As Double, _
                                ByVal fw_perc As Double, _
                                ByVal P_atma As Double, _
                                ByVal T_C As Double, _
                                Optional ByVal PVTstr As String = "") As
    ,→ Double

' обязательные аргументы функции
' Qliq_m3day дебит жидкости на поверхности
' wc_perc    объемная обводненность
' P_atma     давление, атм
' T_C       температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' PVTstr     encoded to string PVT properties of fluid (use
,→ PVT_Encode_string to make PVTstr)
' PVTstr     закодированная строка с параметрами PVT.
'             если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число - плотность ГЖС, кг/м3.

```

### 2.2.3 MF\_GasFraction\_d – доля газа в потоке

Функция расчёта доли свободного газа в потоке (без учёта проскальзывания) в зависимости от термобарических условий для заданного флюида. В отличие от функций PVT учитывается обводнённость.

```

' расчет доли газа в потоке
Public Function MF_GasFraction_d(P_atma, T_C, _
                                Optional ByVal fw_perc = 0, _
                                Optional ByVal PVTstr As String = "" _
                                ) As Double

' обязательные аргументы функции
' P_atma     давление, атм
' T_C       температура, С.
' wc_perc    обводненность объемная
'
' опциональные аргументы функции

```



```

' gamma_gas удельная плотность газа, по воздуху.
'          const_gg_ = 0.6
' gamma_oil удельная плотность нефти, по воде.
'          const_go_ = 0.86
' gamma_wat удельная плотность воды, по воде.
'          const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3 газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'          const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3 замерной газовый фактор, м3/м3.
'          имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma Давление насыщения при температуре Tres_C, атма.
'          Опциональный калибровочный параметр,
'          если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C пластовая температура, С.
'          Учитывается при расчете давления насыщения.
'          const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3 объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP вязкость нефти при давлении насыщения
'          По умолчанию рассчитывается по корреляции
' PVTcorr номер набора PVT корреляций для расчета
'          StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'          McCainBased = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'          StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'          нефти после сепарации доли свободного газа.
'          изменение свойств нефти зависит от условий
'          сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma давление при которой была сепарация
' TKsep_C температура при которой была сепарация
' PVTstr закодированная строка с параметрами PVT.
'          если задана - перекрывает другие значения
'
'          выходное значение - число - доля газа в потоке
' (расходная без проскальзывания)

```



```

ByVal fw_perc As Double, _
Optional ByVal PVTstr As String =
    ,→ PVT_DEFAULT) As Double

' обязательные аргументы функции
' FreeGas_d допустимая доля газа в потоке
' P_atma      давление, атм
' T_C        температура, С.
' опциональные аргументы функции
' PVTstr      закодированная строка с параметрами PVT.
'             если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число - газовый фактор, м3/м3.

```

## 2.3 Сепарация газа в скважине

В скважинах оборудованных системами механизированной добычи нефти важную роль играет процесс сепарации газа на приёме насоса. Под сепарацией газа понимается отделение части свободного газа из потока и перенаправление его по отдельному гидравлическому каналу на поверхность. В результате сепарации газа меняются свойства флюида поступающего в насос и НКТ выше насоса. Оценка величины сепарации может быть проведена приведёнными ниже функциями.

### 2.3.1 MF\_SeparNat\_d – естественная сепарация газа

Функция рассчитывает естественную сепарацию газа на приёме насоса в скважине с использованием корреляции Маркеса [Marquez\_2003]. Результат - безразмерная величина в диапазоне от 0 до 1.

```

' расчет натуральной сепарации газа на приеме насоса
Public Function MF_SeparNat_d(ByVal Pin_atma As Double, _
                                ByVal Qliq_m3day As Double, _
                                Optional ByVal fw_perc As Double = 0, _
                                Optional ByVal Tin_C As Double = 50, _

```

```

Optional ByVal dIntake_mm As Double = 90, _
Optional ByVal dCas_mm As Double = 120, _
Optional ByVal wc_perc = 0, _
Optional ByVal PVTstr As String =
,→ PVT_DEFAULT) As Double

'-----
' Pin_atma      - давление сепарации
' Qliq_m3day    - дебит жидкости в поверхностных условиях
' fw_perc      - обводненность
' Tin_C        - температура сепарации
' dintake_mm    - диаметр приемной сетки
' dcas_mm      - диаметр эксплуатационной колонны
' PVTstr       закодированная строка с параметрами PVT.
'              если задана - перекрывает другие значения

```

### 2.3.2 MF\_SeparTotal\_d – естественная сепарация газа

Функция рассчитывает полную сепарацию газа на приёме насосе в скважине по известным значениям естественной сепарации газа и коэффициента сепарации газосепаратора. Результат - безразмерная величина в диапазоне от 0 до 1.

```

Public Function MF_SeparTotal_d(SepNat As Double, _
                               SepGasSep As Double) As Double
' SepNat      - естественная сепарация
' SepGasSep   - искусственная сепарация (газосепаратор)

```

## 2.4 Расчёт многофазного потока в штуцере

### 2.4.1 Модель потока через штуцер

Штуцер или локальное гидравлическое сопротивление - элемент скважины или системы трубопроводов применяемых для создания дополнительного перепада давления в системе и ограничения потока. Возможны различные варианты реализации штуцера - со штуцерной камерой, с угловым краном позволяющим менять диаметр штуцера и другие. Ключевым параметром штуцера является диаметр  $d_{choke}$  определяющий его способность к ограничению потока.

Как и у любого элемента гидравлического потока есть три ключевых параметра - давление на входе  $P_{in}$ ,  $P_0$ , давление на выходе  $P_{out}$ ,  $P_1$  и расход газожидкостной смеси, обычно задаваемый в стандартных условиях  $Q_{liq}$ .

### 2.4.2 MF\_PChoke\_atm – Расчет давления на входе и на выходе штуцера

Функция позволяет рассчитать давление на входе или выходе штуцера по известному давлению на противоположном конце при известных параметрах потока (дебите жидкости, обводненности, газовому фактору). Расчет проводится по корреляции Перкинса [Perkins\_1993] с учетом многофазного потока.

```
' расчет давления в штуцере
Public Function MF_PChoke_atm(ByVal dPipe_mm As Double, _
                                ByVal dChoke_mm As Double, _
                                ByVal Pin_atma As Double, _
                                ByVal Pout_atma As Double, _
                                ByVal Qliq_m3day As Double, _
                                ByVal fw_perc As Double, _
                                Optional ByVal Tchoke_C As Double = 20, _
                                Optional ByVal Calc_from_P0 As Boolean =
                                    ,→ True, _
                                Optional ByVal PVTstr As String = "")
' dPipe_mm      - диаметр трубы до и после штуцера
```

```

' dChoke_mm      - диаметр штуцера (эффективный)
' Pin_atma       - давление на входе (высокой стороне)
' Pout_atma      - давление на выходе (низкой стороне)
' Qliq_m3day     - дебит жидкости в пов условиях
' fw_perc       - обводненность
' опциональные аргументы функции
' Tchoke_C       - температура, С.
' Calc_from_P0  - показывает направление расчета штуцера
' PVTstr        закодированная строка с параметрами PVT.
'               если задана - перекрывает другие значения
' выходное значение - число - перепад давления на штуцере.

```

### 2.4.3 MF\_dPChoke\_atm – Расчёт перепада давления в штуцере

Функция позволяет рассчитать по известному линейному давлению и дебиту или по известному буферному давлению и дебиту перепад давления. Расчет проводится по корреляции Перкинса [Perkins\_1993] с учетом многофазного потока. Функция возвращает перепад давления и температуры в виде массива.

```

' Расчет перепада давления в штуцере (по потоку)
Public Function MF_dPChoke_atm(dPipe_mm, dChoke_mm, _
    Pin_atma, Pout_atma, _
    Qliq_m3day, fw_perc, _
    Optional ByVal Tchoke_C As Double = 20, _
    Optional ByVal Calc_from_P0 As Boolean = True, _
    Optional ByVal PVTstr As String = PVT_DEFAULT)
' dPipe_mm      - диаметр трубы до и после штуцера
' dChoke_mm     - диаметр штуцера (эффективный)
' Pin_atma      - давление на входе (высокой стороне)
' Pout_atma     - давление на выходе (низкой стороне)
' Qliq_m3day    - дебит жидкости в пов условиях
' fw_perc      - обводненность
' опциональные аргументы функции
' Tchoke_C      - температура, С.
' Calc_from_P0  - показывает направление расчета штуцера
' PVTstr       закодированная строка с параметрами PVT.
'             если задана - перекрывает другие значения
' выходное значение - число - перепад давления на штуцере.

```

#### 2.4.4 MF\_QChoke\_m3day – функция расчёта дебита жидкости через штуцер

Функция позволяет рассчитать по известному буферному давлению и линейному давлению дебит жидкости. Расчет проводится по корреляции Перкинса [Perkins\_1993] с учетом многофазного потока.

```
' функция расчета дебита жидкости через штуцер
Public Function MF_QChoke_m3day(dPipe_mm, dChoke_mm, Pup_atma,
→ Pdown_atma, fw_perc, _
                        Optional ByVal Tchoke_C = 20, _
                        Optional ByVal PVTstr As String = "")
' dPipe_mm      - диаметр трубы до и после штуцера
' dChoke_mm     - диаметр штуцера (эффективный)
' Pdown_atma    - давление на выходе (низкой стороне)
' Pup_atma      - давление на входе (высокой стороне)
' fw_perc       - обводненность
' данные PVT
```

## 2.5 Расчет многофазного потока в трубе

### 2.5.1 MF\_dPipe\_atma – расчёт перепада давления в трубе

Функция позволяет рассчитать перепад давления в участке трубопровода.  
Функция возвращает давление и температуру в виде массива.

```
' расчет перепада давления и распределения температуры в трубе
' с использованием многофазных корреляций
Public Function MF_dPipe_atm(ByVal Q_m3Day As Double, _
                             ByVal fw_perc As Double, _
                             ByVal Hmes0_m As Double, _
                             ByVal Hmes1_m As Double, _
                             ByVal Pcalc_atma As Double, _
                             Optional ByVal PVTstr As String =
                               ,→ PVT_DEFAULT, _
                             Optional ByVal theta_deg As Double = 90, _
                             Optional ByVal d_mm As Double = 60, _
                             Optional ByVal HydrCorr As H_CORRELATION
                               ,→ = 0, _
                             Optional ByVal Tcalc_C As Double = 50, _
                             Optional ByVal Tother_C As Double = -1, _
                             Optional ByVal betta_grav = 1, _
                             Optional ByVal betta_fric = 1, _
                             Optional ByVal roughness_m As Double =
                               ,→ 0.0001)

'
' Обязательные параметры
' Q_m3Day          - дебит жидкости в поверхностных условиях
' fw_perc          - обводненность
' Hmes0_m          - начальная координата трубы, м
' Hmes1_m          - конечная координата трубы, м
'
'                  расчет всегда ведется от начальной координаты к
'                  конечной. если Hmes0_m < Hmes1_m то расчет
'                  идет сверху вниз для вертикальной трубы
'                  иначе расчет идет снизу вверх
' Pcalc_atma       - давление с которого начинается расчет, атм
'                  граничное значение для проведения расчета
' Необязательные параметры
' стандартные набор PVT параметров
```

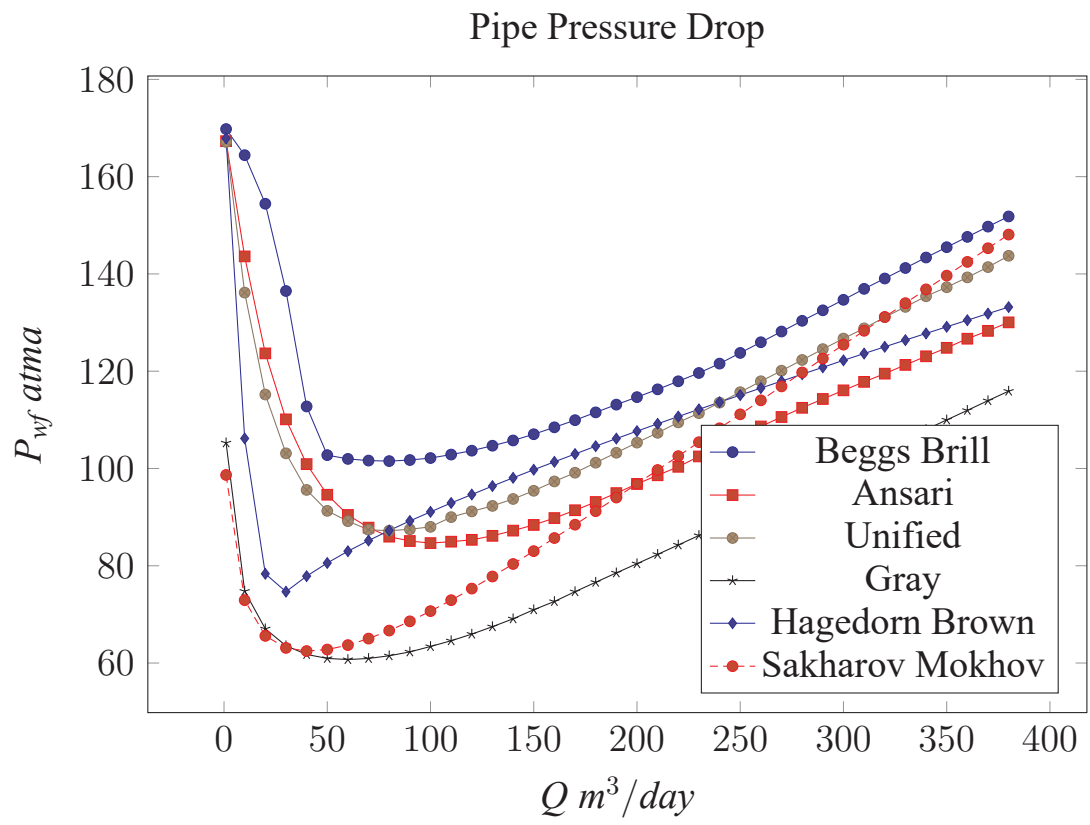


```

' PVTstr      закодированная строка с параметрами PVT.
'
'             если задана - перекрывает другие значения
' theta_deg   - угол направления потока к горизонтали
'             (90 - вертикальная труба вверх)
'
'             может принимать отрицательные значения
' d_mm        - внутренний диаметр трубы
' HydrCorr    - гидравлическая корреляция, H_CORRELATION
'
'             BeggsBrillCor = 0
'
'             AnsariCor = 1
'
'             UnifiedCor = 2
'
'             Gray = 3
'
'             HagedornBrown = 4
'
'             SakharovMokhov = 5
' Tcalc_C     - температура в точке где задано давление, С
' Tother_C    - температура на другом конце трубы
'
'             по умолчанию температура вдоль трубы постоянна
'             если задано то меняется линейно по трубе
' betta_grav  - поправка на гравитационную составляющую перепада
,→ давления
' betta_fric  - поправка на трение в перепаде давления
' roughness_m - шероховатость трубы
' выходное значение - число - перепад давления в трубе.

```

Ниже на рисунке приведены результаты расчёта кривой оттока (перепада давления в вертикальной трубе) для различных корреляций реализованных в Unifloc 7.6 VBA .



## **2.6 Расчет многофазного потока в пласте**

### 2.6.1 IPR\_PI\_sm3dayatm – расчёт продуктивности

Функция позволяет рассчитать коэффициент продуктивности скважины.

```
' расчёт продуктивности
Public Function IPR_PI_sm3dayatm(Qtest_m3day, Pwfctest_atm, Pr
Optional WCT_perc As Double = 0, Optional Pb_atm As Double =
'
' Qtest_m3day      - тестовый дебит скважины
' Pwfctest_atm     - тестовое забойное давление
' Pr_atm           - пластовое давление, атм
'
' необязательные параметры
' WCT_perc         - обводненность
' Pb_atm           - давление насыщения
'
```

Листинг 2: Объявление функции расчёта продуктивности

### 2.6.2 IPR\_Pwf\_atm – расчёт дебита по давлению и продуктивности

Функция позволяет рассчитать дебит жидкости скважины по известным значениям давления и продуктивности.

```
' расчёт дебита по давлению и продуктивности
Public Function IPR_Pwf_atm(PI_m3dayatm, Pr_atm, Ql_m3day, _
Optional WCT_perc As Double = 0, Optional Pb_atm As Double =
',
' PI_m3dayatm      - коэффициент продуктивности
' Pr_atm           - пластовое давление, атм
' Ql_m3day         - дебит жидкости скважины на поверхности
',
' необязательные параметры
' WCT_perc         - обводненность
' Pb_atm           - давление насыщения
'
```

Листинг 3: Объявление функции расчёта дебита по давлению и продуктивности

### 2.6.3 IPR\_Ql\_sm3Day – расчёт дебита по давлению и продуктивности

Функция позволяет рассчитать дебита по давлению и продуктивности.

```
' расчёт дебита по давлению и продуктивности
Public Function IPR_Ql_sm3Day(PI_m3dayatm, Pr_atm, Pwf_atm, _
Optional WCT_perc As Double = 0, Optional Pb_atm As Double =
'
' PI_m3dayatm      - коэффициент продуктивности
' Pr_atm           - пластовое давление, атм
' Pwf_atm          - забойное давление
'
' необязательные параметры
' WCT_perc         - обводненность
' Pb_atm           - давление насыщения
'
```

Листинг 4: Объявление функции расчёта дебита по давлению и продуктивности

### Глава 3. Функции модуля «u7\_Excel\_functions\_ESP»

В этом модули приведены интерфейсные функции Excel (функции, которые можно вызывать непосредственно с листа Excel) для расчёта параметров работы УЭЦН - установки электрического центробежного насоса.

УЭЦН состоит из следующих основных конструктивных элементов:

- ЦН - центробежный насос. Модуль обеспечивающий перекачку жидкости.
- ПЭД - погружной электрический двигатель. Модуль обеспечивающий преобразование электрической энергии, поступающий к УЭЦН по кабелю в механическую энергию вращения вала.
- ГС - газосепаратор или приемный модуль. Модуль обеспечивающий забор пластовой жидкости из скважины и подачу ее в насос. При этом центробежный газосепаратор способе отделить часть свободного газа в потоке и направить его в межтрубное пространство скважины.
- вал - узел передающий энергию от погружного электрического двигателя (ПЭД) к остальным узлам установки, в том числе к центробежному насосу.

Задача расчета УЭЦН обычно сводится к следующим:

- Прямая задача - по заданным значения дебита жидкости скважины, давлению на приеме, напряжению питания УЭЦН на поверхности найти давление на выкиде насоса, потребляемую электрическую мощность, потребляемый ток установки, КПД всей системы и отдельных узлов системы
- Обратная задача - по данным контроля параметров работы УЭЦН на поверхности - потребляемому току, напряжению питания частоте подаваемого напряжения, данным по конструкции УЭЦН и скважины найти дебит жидкости и обводнённость по скважине, давление на приеме и забойное давление.
- Задача узлового анализа - по данным конструкции скважины, параметров работы погружного оборудования оценить дебит по жидкости скважины при заданным параметрах работы УЭЦН или при из изменении. К этому типу задач относится задача подбора погружного оборудования для достижения заданных условий эксплуатации

Для расчёта УЭЦН требуется рассчитать гидравлические параметры работы ЦН и электромеханические параметры ПЭД

### **3.1 Гидравлический расчет центробежного насоса (ЦН)**

Расчет выполняется на основе паспортных характеристик ЦН.

### **3.2 Электромеханический расчёт погружного электрического двигателя ПЭД**

Рассматривается асинхронный электрический двигатель.

Погружные асинхронные электрические двигатели для добычи нефти являются трехфазными.

Впервые конструкция трёхфазного асинхронного двигателя была разработана, создана и опробована русским инженером М. О. Доливо-Добровольским в 1889-91 годах. Демонстрация первых двигателей состоялась на Международной электротехнической выставке во Франкфурте на Майне в сентябре 1891 года. На выставке было представлено три трёхфазных двигателя разной мощности. Самый мощный из них имел мощность 1.5 кВт и использовался для приведения во вращение генератора постоянного тока. Конструкция асинхронного двигателя, предложенная Доливо-Добровольским, оказалась очень удачной и является основным видом конструкции этих двигателей до настоящего времени.

За прошедшие годы асинхронные двигатели нашли очень широкое применение в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства. Их используют в электроприводе металлорежущих станков, подъёмно-транспортных машин, транспортёров, насосов, вентиляторов. Маломощные двигатели используются в устройствах автоматики.

Широкое применение асинхронных двигателей объясняется их достоинствами по сравнению с другими двигателями: высокая надёжность, возможность работы непосредственно от сети переменного тока, простота обслуживания.



Для расчёта электромеханических параметров погружных электрических двигателей полезно понимать теоретические основы их работы. Теория работы погружных асинхронных двигателей не отличается от теории применимой к двигателям применяемым на поверхности. Далее кратко изложены основные положения теории.

Трёхфазная цепь является частным случаем многофазных систем электрических цепей, представляющих собой совокупность электрических цепей, в которых действуют синусоидальные ЭДС одинаковой частоты, отличающиеся по фазе одна от другой и создаваемые общим источником энергии. Переменный ток протекающий по трёхфазной цепи характеризуется следующими параметрами:

- Фазное напряжение  $U_A; U_B; U_C$  - напряжение между линейным проводом и нейтралью
- Линейное напряжение  $U_{AB}; U_{BC}; U_{CA}$  - напряжение между одноименными выводами разных фаз
- Фазный ток  $I_{phase}$  – ток в фазах двигателя.
- Линейный ток  $I_{line}$  – ток в линейных проводах.
- $\cos \varphi$  - коэффициент мощности, где  $\varphi$  величина сдвига по фазе между напряжением и током

Подключение двигателя к цепи трехфазного тока может быть выполнено по схеме "звезда" или "треугольник".

Тут нужен рисунок

Для схемы звезда фазное напряжение меньше линейного в  $\sqrt{3}$  раз.

$$U_{AB} = \sqrt{3}U_A$$

$$I_{phase} = I_{line}$$

Для схемы треугольник

$$U_{AB} = U_A$$

$$I_{line} = \sqrt{3}I_{phase}$$

В погружных двигателях обычно применяется схема подключения звезда. Эта схема обеспечивает более низкое напряжение в линии, что способствует повышению КПД передачи энергии по длинному кабелю. Еще есть причины? При схеме подключения звезда токи в линии и в фазной обмотке статора двигателя совпадают, поэтому значение тока обозначают  $I$  не указывая индекс в явном

виде. Поскольку линейное напряжения проще измерить и легче контролировать параметры трехфазного двигателя обычно заданию линейный. в частности номинальное напряжение питания двигателя это линейное напряжение (напряжение между фазами). Далее линейное напряжение будет обозначать без индекса как  $U$

Активная электрическая мощность в трехфазной цепи задается выражением

$$P = \sqrt{3}UI \cos \varphi$$

Реактивная мощность

$$Q = \sqrt{3}UI \sin \varphi$$

Соответственно полная мощность

$$S = \sqrt{3}UI$$

### 3.2.1 Устройство трёхфазной асинхронной машины

Неподвижная часть машины называется статор, подвижная – ротор. Обмотка статора состоит из трёх отдельных частей, называемых фазами.

При подаче переменного напряжения и тока на обмотки статора внутри статора формируется вращающееся магнитное поле. Частота вращения магнитного поля совпадает с частотой питающего напряжения.

Магнитный поток  $\Phi$  и напряжение подаваемое на статор связаны приближенным соотношением

$$U_1 \approx E_1 = 4.44w_1k_1f\Phi$$

где

$\Phi$  - магнитный поток;

$U_1$  - напряжение в одной фазе статора;

$f$  - частота сети;

$E_1$  - ЭЦН в фазе статора;

$w_1$  - число витков одной фазы обмотки статора;

$k_1$  - обмоточный коэффициент.

Из этого выражения следует, что магнитный поток  $\Phi$  в асинхронной машине не зависит от её режима работы, а при заданной частоте сети  $f$  зависит только от действующего значения приложенного напряжения  $U_1$

Для ЭДС ротора можно записать выражение

$$E_2 = 4,44w_2k_2fS\Phi$$

где

$S$  - величина скольжения (проскальзывания);

$E_2$  - ЭЦН в фазе ротора;

$w_2$  - число витков одной фазы обмотки ротора;

$k_2$  - обмоточный коэффициент ротора.

ЭДС, наводимая в обмотке ротора, изменяется пропорционально скольжению и в режиме двигателя имеет наибольшее значение в момент пуска в ход. Для тока ротора в общем случае можно получить такое соотношение

$$I_2 = \frac{E_2S}{\sqrt{R_2^2 + (SX_2^2)}}$$

где

$R_2$  - активное сопротивление обмотки ротора, связанное с потерями на нагрев обмотки;

$X_2 = 2\pi fL_2$  - индуктивное сопротивление обмотки неподвижного ротора, связанное с потоком рассеяния;

Отсюда следует, что ток ротора зависит от скольжения и возрастает при его увеличении, но медленнее, чем ЭДС.

Для асинхронного двигателя можно получить следующее выражение для механического момента

$$M = \frac{1}{4,44w_2k_2k_T^2fR_2^2 + (SX_2^2)^2} \frac{U_1^2R_2S}{k_T}$$

где

$k_T = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1k_1}{w_2k_2}$  - коэффициент трансформации асинхронной машины

Из полученного выражения для электромагнитного момента следует, что он сильно зависит от подведённого напряжения ( $M \sim U_1^2$ ). При снижении, например, напряжения на 10%, электромагнитный момент снизится на 19%  $M \sim (0,9U_1)^2 = 0,81U_1^2$ . Это является одним из недостатков асинхронных двигателей.

## **Глава 4. Функции модуля «tr\_mdITecRegimes»**

Одна из первых реализаций расчётных модулей Unifloc 7.6 VBA была создана для проведения расчётов потенциала добычи нефти в форме технологического режима добывающих скважин. Расчёты были реализованы в начале 2000х годов. Расчётная форма оказалась удобной для практического применения и со временем алгоритмы расчёта распространились по разным компаниям и широко использовались.

### **4.1 Технологический режим добывающих скважин**

Для обеспечения обратной совместимости расчётов в Unifloc 7.6 VBA заложены основные функции расчёта из технологического режима работы скважин. У функций изменены названия функций и имена аргументов, однако алгоритмы расчётов оставлены без изменений.

#### **4.1.1 tr\_Pwf\_calc\_atma – расчёт забойного давления по динамическому уровню**

Функция рассчитывает забойное давление добывающей нефтяной скважины. Расчёт выполняется по известному значению затрубного давления и динамическому уровню. [Khasanov\_TR\_2006]

Результат расчёта - абсолютное значение забойного давления.

Расчёт выполняется по модифицированной корреляции Хасана-Кабира оптимизированной для скорости вычисления как для интервала выше насоса в межтрубном пространстве, так и для участка ниже насоса. При расчёте пренебрегается трением в потоке и используются упрощённые PVT зависимости, что позволило получить результат в аналитическом виде и ускорить расчёты. [ссылку надо будет привести когда то]

Функция позволяет учесть удлинения скважин для забоя, глубины спуска насоса, и динамического уровня. Два последних значения являются опциональными и могут быть опущены при проведении расчёта.

#### **4.1.2 tr\_Pwf\_calc\_Pin\_atma – расчёт забойного давления по давлению на приеме**

Функция рассчитывает забойное давление добывающей нефтяной скважины по известному значению давления на приёме насоса.

Результат расчёта - абсолютное значение забойного давления.

Расчёт выполняется по модифицированной корреляции Хасана-Кабира оптимизированной для скорости вычисления для участка ниже насоса. При расчёте пренебрегается трением в потоке и используются упрощённые PVT зависимости, что позволило получить результат в аналитическом виде и ускорить расчёты. [ссылку надо будет привести когда то]

Функция позволяет учесть удлинения скважин для забоя, глубины спуска насоса. Последнее значение являются опциональными и могут быть опущены при проведении расчёта.

#### **4.1.3 tr\_Pump\_calc\_atma – расчёт давления на приеме по динамическому уровню**

Функция рассчитывает давление на приёме насоса добывающей нефтяной скважины по известному значению затрубного давления и динамическому уровню.

Расчёт выполняется по модифицированной корреляции Хасана-Кабира оптимизированной для скорости вычисления для участка выше насоса. При расчёте пренебрегается трением в потоке и используются упрощённые PVT зависимости, что позволило получить результат в аналитическом виде и ускорить расчёты. [ссылку надо будет привести когда то]. Значение коэффициента сепарации используется для оценки объёмного расхода газа в межтрубном пространстве.

Результат расчёта - абсолютное значение давления на приёме насоса.

#### **4.1.4 tr\_Potential\_Pwf\_atma – расчёт целевого забойного давления по доле газа**

Функция рассчитывает целевое забойное давление добывающей нефтяной скважины при котором достигается заданная доля газа в потоке.

Результат расчёта - абсолютное значение забойного давления.

#### **4.1.5 tr\_BB\_Pwf\_atma – расчёт забойного давления фонтанирующей скважины по буферному давлению**

Функция рассчитывает забойное давление фонтанирующей добывающей скважины по известному значению буферного давления. Расчет выполняется по корреляции Бегсса Брилла.

Расчет отличается рядом упрощений - из PVT свойств используется только значение газового фактора - давление насыщения и объемный коэффициент газа вычисляются по корреляциям.

В отличие от расчёта скважин с насосом в корреляции Беггса Брилла учитывается наличие трения. Хотя для низких дебитов эта корреляция может давать завышенные значения перепада давления.

Для расчётов рекомендуется использовать функцию Unifloc 7.6 VBA реализующую аналогичную функциональность с меньшим набором допущений

Результат расчёта - абсолютное значение забойного давления.

#### **4.1.6 tr\_BB\_Pwf\_Pin\_atma – расчёт забойного давления по давлению на приеме по корреляции Беггса-Брилла**

Функция рассчитывает забойное давление добывающей скважины по известному значению давления на приёме. Расчёт выполняется по корреляции Беггса-Брилла. Расчёт отличается рядом упрощений - из PVT свойств используется только значение газового фактора - давление насыщения и объёмный коэффициент газа вычисляются по корреляциям.

В отличие от расчёта скважин с насосом в корреляции Беггса Брилла учитывается наличие трения. Хотя для низких дебитов эта корреляция может давать завышенные значения перепада давления.

Для расчётов рекомендуется использовать функцию Unifloc 7.6 VBA реализующую аналогичную функциональность с меньшим набором допущений

Результат расчёта - абсолютное значение забойного давления.

## **Заключение**

Заключение возможно будет тут когда то



### Список сокращений и условных обозначений

$\gamma_g$  - gamma\_gas - удельная плотность газа, по воздуху.

$\gamma_o$  - gamma\_oil - удельная плотность нефти, по воде.

$\gamma_w$  - gamma\_wat- удельная плотность воды, по воде.

$R_{sb}$ - Rsb\_m3m3 газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.

$R_p$ - Rp\_m3m3. замерной газовый фактор, м3/м3.

$P_b$  -Pb\_atma. давление насыщения, атма.

$T_{res}$ - Tres\_С пластовая температура, °С.

$B_{ob}$  -Bob\_m3m3 объёмный коэффициент нефти, м3/м3.

$\mu_{ob}$  -Muob\_сР. вязкость нефти при давлении насыщения, сП.

## Словарь терминов

**VBA** — Visual Basic for Application язык программирования встроенный в Excel и использованный для написания макросов Unifloc 7.6 VBA

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

## **Приложение А**

### **Автоматически сгенерированное описание**

Далее следует описание расчетных функций Unifloc 7.6 VBA автоматически сгенерированное из исходного кода. Более подробное описание основных функций можно найти в описании выше. Автоматическое описание возможно будет более полным и актуальным пока продолжается разработка.

## A.1 IPR\_PI\_sm3dayatm

```
' расчет продуктивности
Public Function IPR_PI_sm3dayatm(Qtest_m3day, Pwfatest_atma, Pr_atma, _
    Optional ByVal fw_perc As Double = 0, Optional ByVal
    ,→ Pb_atma As Double = -1)
'
' Qtest_m3day    - тестовый дебит скважины
' Pwfatest_atma  - тестовое забойное давление
' Pr_atma        - пластовое давление, атм
'
' необязательные параметры
' fw_perc        - обводненность
' Pb_atma        - давление насыщения
```

## A.2 IPR\_Pwf\_atma

```
' расчет дебита по давлению и продуктивности
Public Function IPR_Pwf_atma(PI_m3dayatm, Pr_atma, Ql_m3day, _
    Optional ByVal fw_perc As Double = 0, Optional ByVal Pb_atma As
    ,→ Double = -1)
'
' PI_m3dayatm    - коэффициент продуктивности
' Pr_atma        - пластовое давление, атм
' Ql_m3day       - дебит жидкости скважины на поверхности
'
' необязательные параметры
' fw_perc        - обводненность
' Pb_atma        - давление насыщения
```

### A.3 IPR\_Ql\_sm3Day

```
' расчет дебита по давлению и продуктивности
Public Function IPR_Ql_sm3Day(PI_m3dayatm, Pr_atma, Pwf_atma, _
    Optional ByVal fw_perc As Double = 0, Optional ByVal Pb_atma As
    ,→ Double = -1)
'
' PI_m3dayatm    - коэффициент продуктивности
' Pr_atma        - пластовое давление, атм
' Pwf_atma       - забойное давление
'
' необязательные параметры
' fw_perc        - обводненность
' Pb_atma        - давление насыщения
```

### A.4 MF\_CJT\_Katm

```
' функция расчета коэффициента Джоуля Томсона
Public Function MF_CJT_Katm(P_atma, T_C, _
    Optional ByVal PVTstr As String = PVT_DEFAULT, _
    Optional ByVal Ql_m3day As Double = 10, _
    Optional ByVal fw_perc As Double = 0) As Double
' обязательные аргументы функции
' P_atma        давление, атм
' T_C           температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
'
' PVTstr        encoded to string PVT properties of fluid
' Ql_m3day      liquid rate (at surface)
' fw_perc       water fraction (watercut)
' output - number
```

## A.5 MF\_dPChoke\_atm

```
' Расчет перепада давления в штуцере (по потоку)
Public Function MF_dPChoke_atm(dPipe_mm, dChoke_mm, _
    Pin_atma, Pout_atma, _
    Qliq_m3day, fw_perc, _
    Optional ByVal Tchoke_C As Double = 20, _
    Optional ByVal Calc_from_P0 As Boolean = True, _
    Optional ByVal PVTstr As String = PVT_DEFAULT)
' dPipe_mm      - диаметр трубы до и после штуцера
' dChoke_mm     - диаметр штуцера (эффективный)
' Pin_atma      - давление на входе (высокой стороне)
' Pout_atma     - давление на выходе (низкой стороне)
' Qliq_m3day    - дебит жидкости в пов условиях
' fw_perc       - обводненность
' опциональные аргументы функции
' Tchoke_C      - температура, С.
' Calc_from_P0  - показывает направление расчета штуцера
' PVTstr        - закодированная строка с параметрами PVT.
'               - если задана - перекрывает другие значения
' выходное значение - число - перепад давления на штуцере.
```

## A.6 MF\_dPpipe\_atm

```
' расчет перепада давления и распределения температуры в трубе
' с использованием многофазных корреляций
Public Function MF_dPpipe_atm(ByVal Q_m3Day As Double, _
    ByVal fw_perc As Double, _
    ByVal Hmes0_m As Double, _
    ByVal Hmes1_m As Double, _
    ByVal Pcalc_atma As Double, _
    Optional ByVal PVTstr As String =
        ,→ PVT_DEFAULT, _
    Optional ByVal theta_deg As Double = 90, _
    Optional ByVal d_mm As Double = 60, _
```

```

Optional ByVal HydrCorr As H_CORRELATION
    ,→ = 0, _
Optional ByVal Tcalc_C As Double = 50, _
Optional ByVal Tother_C As Double = -1, _
Optional ByVal betta_grav = 1, _
Optional ByVal betta_fric = 1, _
Optional ByVal roughness_m As Double =
    ,→ 0.0001)

'
' Обязательные параметры
' Q_m3Day      - дебит жидкости в поверхностных условиях
' fw_perc      - обводненность
' Hmes0_m      - начальная координата трубы, м
' Hmes1_m      - конечная координата трубы, м
'
'              расчет всегда ведется от начальной координаты к
'              конечной. если Hmes0_m < Hmes1_m то расчет
'              идет сверху вниз для вертикальной трубы
'              иначе расчет идет снизу вверх
' Pcalc_atma   - давление с которого начинается расчет, атм
'
'              граничное значение для проведения расчета
'
' Необязательные параметры
' стандартные набор PVT параметров
' PVTstr       закодированная строка с параметрами PVT.
'
'              если задана - перекрывает другие значения
' theta_deg    - угол направления потока к горизонтали
'
'              (90 - вертикальная труба вверх)
'
'              может принимать отрицательные значения
' d_mm         - внутренний диаметр трубы
' HydrCorr     - гидравлическая корреляция, H_CORRELATION
'
'              BeggsBrillCor = 0
'
'              AnsariCor = 1
'
'              UnifiedCor = 2
'
'              Gray = 3
'
'              HagedornBrown = 4
'
'              SakharovMokhov = 5
' Tcalc_C      - температура в точке где задано давление, С
' Tother_C     - температура на другом конце трубы
'
'              по умолчанию температура вдоль трубы постоянна
'
'              если задано то меняется линейно по трубе
' betta_grav   - поправка на гравитационную составляющую перепада
,→ давления
' betta_fric   - поправка на трение в перепаде давления

```

```
' roughness_m    - шероховатость трубы
' выходное значение - число - перепад давления в трубе.
```

## A.7 MF\_GasFraction\_d

```
' расчет доли газа в потоке
Public Function MF_GasFraction_d(P_atma, T_C, _
                                Optional ByVal fw_perc = 0, _
                                Optional ByVal PVTstr As String = "" _
                                ) As Double

' обязательные аргументы функции
' P_atma    давление, атм
' T_C       температура, С.
' wc_perc   обводненность объемная
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas удельная плотность газа, по воздуху.
'           const_gg_ = 0.6
' gamma_oil удельная плотность нефти, по воде.
'           const_go_ = 0.86
' gamma_wat удельная плотность воды, по воде.
'           const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3  газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'           const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3   замерной газовый фактор, м3/м3.
'           имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma   Давление насыщения при температуре Tres_C, атма.
'           Опциональный калибровочный параметр,
'           если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C    пластовая температура, С.
'           Учитывается при расчете давления насыщения.
'           const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3  объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP   вязкость нефти при давлении насыщения
'           По умолчанию рассчитывается по корреляции
' PVTcorr   номер набора PVT корреляций для расчета
'           StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'           McCainBased = 1 - на основе кор-ии Маккейна
```



```

'          StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr    коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'            нефти после сепарации доли свободного газа.
'            изменение свойств нефти зависит от условий
'            сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma  давление при которой была сепарация
' TKsep_C    температура при которой была сепарация
' PVTstr     закодированная строка с параметрами PVT.
'            если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число - доля газа в потоке
' (расходная без проскальзывания)

```

## A.8 MF\_Mumix\_cP

```

' расчет вязкости газожидкостной смеси для заданных термобарических
,→ условий
Public Function MF_Mumix_cP(ByVal Qliq_m3day As Double, _
                           ByVal fw_perc As Double, _
                           ByVal P_atma As Double, _
                           ByVal T_C As Double, _
                           Optional ByVal PVTstr As String = "") As
,→ Double

' обязательные аргументы функции
' Qliq_m3day дебит жидкости на поверхности
' wc_perc    объемная обводненность
' P_atma     давление, атм
' T_C       температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' PVTstr     encoded to string PVT properties of fluid (use
,→ PVT_Encode_string to make PVTstr)
' PVTstr     закодированная строка с параметрами PVT.
'            если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число - вязкость ГЖС, мЗ/сут.

```

## A.9 MF\_PChoke\_atm

```
' расчет давления в штуцере
Public Function MF_PChoke_atm(ByVal dPipe_mm As Double, _
                               ByVal dChoke_mm As Double, _
                               ByVal Pin_atma As Double, _
                               ByVal Pout_atma As Double, _
                               ByVal Qliq_m3day As Double, _
                               ByVal fw_perc As Double, _
                               Optional ByVal Tchoke_C As Double = 20, _
                               Optional ByVal Calc_from_P0 As Boolean =
                                   ,→ True, _
                               Optional ByVal PVTstr As String = "")

' dPipe_mm      - диаметр трубы до и после штуцера
' dChoke_mm     - диаметр штуцера (эффективный)
' Pin_atma      - давление на входе (высокой стороне)
' Pout_atma     - давление на выходе (низкой стороне)
' Qliq_m3day    - дебит жидкости в пов условиях
' fw_perc       - обводненность
' опциональные аргументы функции
' Tchoke_C      - температура, С.
' Calc_from_P0  - показывает направление расчета штуцера
' PVTstr        - закодированная строка с параметрами PVT.
'               - если задана - перекрывает другие значения
' выходное значение - число - перепад давления на штуцере.
```

## A.10 MF\_PGasFraction\_atma

```
' расчет давления при котором достигается заданная доля газа в потоке
Public Function MF_PGasFraction_atma(ByVal FreeGas_d As Double, _
                                      ByVal T_C As Double, _
                                      ByVal fw_perc As Double, _
                                      Optional ByVal PVTstr As String =
                                          ,→ PVT_DEFAULT) As Double

' обязательные аргументы функции
' FreeGas_d     - допустимая доля газа в потоке
```

```

' T_C      температура, С.
' опциональные аргументы функции
' PVTstr    закодированная строка с параметрами PVT.
'           если задана – перекрывает другие значения
'
' выходное значение – число – давление, атма.

```

### A.11 MF\_PpipeZLNF\_atma

```

' расчет давления и распределения температуры в трубе
' при барботаже (движение газа в затрубе при неподвижной жидкости)
' с использованием многофазных корреляций
Public Function MF_PpipeZLNF_atma(ByVal Q_m3Day As Double, _
                                ByVal fw_perc As Double, _
                                ByVal Hmes0_m As Double, _
                                ByVal Hmes1_m As Double, _
                                ByVal Pcalc_atma As Double, _
                                Optional ByVal PVTstr As String =
                                ,→ PVT_DEFAULT, _
                                Optional ByVal theta_deg As Double = 90, _
                                Optional ByVal d_mm As Double = 60, _
                                Optional ByVal HydrCorr As H_CORRELATION
                                ,→ = 0, _
                                Optional ByVal Tcalc_C As Double = 50, _
                                Optional ByVal Tother_C As Double = -1, _
                                Optional ByVal betta_grav = 1, _
                                Optional ByVal betta_fric = 1, _
                                Optional ByVal roughness_m As Double =
                                ,→ 0.0001, _
                                Optional ByVal Qgcas_free_scm3day As
                                ,→ Double = 50)
'
' Обязательные параметры
' Q_m3Day      – дебит жидкости в поверхностных условиях (учтется при
,→ расчете газа в затрубе)
' fw_perc      – обводненность
' Hmes0_m      – начальная координата трубы, м
' Hmes1_m      – конечная координата трубы, м

```

```

'           расчет всегда ведется от начальной координаты к
'           конечной. если Hmes0_m < Hmes1_m то расчет
'           идет сверху вниз для вертикальной трубы
'           иначе расчет идет снизу вверх
' Pcalc_atma    - давление с которого начинается расчет, атм
'               граничное значение для проведения расчета
' Необязательные параметры
' стандартные набор PVT параметров
' PVTstr        закодированная строка с параметрами PVT.
'               если задана - перекрывает другие значения
' theta_deg     - угол направления потока к горизонтали
'               (90 - вертикальная труба вверх)
'               может принимать отрицательные значения
' d_mm          - внутренний диаметр трубы
' HydrCorr      - гидравлическая корреляция, H_CORRELATION
'               BeggsBrillCor = 0
'               AnsariCor = 1
'               UnifiedCor = 2
'               Gray = 3
'               HagedornBrown = 4
'               SakharovMokhov = 5
'               для барботажа принудительно на основе Ансари пока
' Tcalc_C       - температура в точке где задано давление, С
' Tother_C      - температура на другом конце трубы
'               по умолчанию температура вдоль трубы постоянна
'               если задано то меняется линейно по трубе
' betta_grav    - поправка на гравитационную составляющую перепада
,→ давления
' betta_fric    - поправка на трение в перепаде давления
' roughness_m   - шероховатость трубы
' Qgcas_free_scm3day - количество газа в затрубе
' выходное значение - число - давление на другом конце трубы atma.

```

## A.12 MF\_Ppipe\_atma

```

'   расчет давления и распределения температуры в трубе
'   с использованием многофазных корреляций
Public Function MF_Ppipe_atma(ByVal Q_m3Day As Double, _

```

```

        ByVal fw_perc As Double, _
        ByVal Hmes0_m As Double, _
        ByVal Hmes1_m As Double, _
        ByVal Pcalc_atma As Double, _
        Optional ByVal PVTstr As String =
            ,→ PVT_DEFAULT, _
        Optional ByVal theta_deg As Double = 90, _
        Optional ByVal d_mm As Double = 60, _
        Optional ByVal HydrCorr As H_CORRELATION
            ,→ = 0, _
        Optional ByVal Tcalc_C As Double = 50, _
        Optional ByVal Tother_C As Double = -1, _
        Optional ByVal betta_grav = 1, _
        Optional ByVal betta_fric = 1, _
        Optional ByVal roughness_m As Double =
            ,→ 0.0001)
'
' Обязательные параметры
' Q_m3Day      - дебит жидкости в поверхностных условиях
' fw_perc      - обводненность
' Hmes0_m      - начальная координата трубы, м
' Hmes1_m      - конечная координата трубы, м
'
'              расчет всегда ведется от начальной координаты к
'              конечной. если Hmes0_m < Hmes1_m то расчет
'              идет сверху вниз для вертикальной трубы
'              иначе расчет идет снизу вверх
' Pcalc_atma   - давление с которого начинается расчет, атм
'
'              граничное значение для проведения расчета
' Необязательные параметры
' стандартные набор PVT параметров
' PVTstr       закодированная строка с параметрами PVT.
'
'              если задана - перекрывает другие значения
' theta_deg    - угол направления потока к горизонтали
'              (90 - вертикальная труба вверх)
'
'              может принимать отрицательные значения
' d_mm         - внутренний диаметр трубы
' HydrCorr     - гидравлическая корреляция, H_CORRELATION
'
'              BeggsBrillCor = 0
'
'              AnsariCor = 1
'
'              UnifiedCor = 2
'
'              Gray = 3
'
'              HagedornBrown = 4
'
'              SakharovMokhov = 5

```

```

' Tcalc_C      - температура в точке где задано давление, С
' Tother_C     - температура на другом конце трубы
'              по умолчанию температура вдоль трубы постоянна
'              если задано то меняется линейно по трубе
' betta_grav   - поправка на гравитационную составляющую перепада
,→ давления
' betta_fric   - поправка на трение в перепаде давления
' roughness_m  - шероховатость трубы
' выходное значение - число - давление на другом конце трубы atma.

```

### A.13 MF\_QChoke\_m3day

```

' функция расчета дебита жидкости через штуцер
Public Function MF_QChoke_m3day(dPipe_mm, dChoke_mm, Pup_atma,
,→ Pdown_atma, fw_perc, _
                        Optional ByVal Tchoke_C = 20, _
                        Optional ByVal PVTstr As String = "")
' dPipe_mm      - диаметр трубы до и после штуцера
' dChoke_mm     - диаметр штуцера (эффективный)
' Pdown_atma    - давление на выходе (низкой стороне)
' Pup_atma      - давление на входе (высокой стороне)
' fw_perc       - обводненность
' данные PVT

```

### A.14 MF\_Qmix\_m3day

```

' расчет объемного расхода газожидкостной смеси для заданных
,→ термобарических условий
Public Function MF_Qmix_m3day(ByVal Qliq_m3day As Double, _
                        ByVal fw_perc As Double, _
                        ByVal P_atma As Double, _
                        ByVal T_C As Double, _

```

```

Optional ByVal PVTstr As String = "") As
    ,→ Double

' обязательные аргументы функции
' Qliq_m3day дебит жидкости на поверхности
' wc_perc    объемная обводненность
' P_atma     давление, атм
' T_C        температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' PVTstr     encoded to string PVT properties of fluid
' PVTstr     закодированная строка с параметрами PVT.
'            если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число - объемный расход ГЖС, м3/сут.

```

### A.15 MF\_Rhomix\_kgm3

```

' расчет плотности газожидкостной смеси для заданных условий
Public Function MF_Rhomix_kgm3(ByVal Qliq_m3day As Double, _
                                ByVal fw_perc As Double, _
                                ByVal P_atma As Double, _
                                ByVal T_C As Double, _
                                Optional ByVal PVTstr As String = "") As
    ,→ Double

' обязательные аргументы функции
' Qliq_m3day дебит жидкости на поверхности
' wc_perc    объемная обводненность
' P_atma     давление, атм
' T_C        температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' PVTstr     encoded to string PVT properties of fluid (use
,→ PVT_Encode_string to make PVTstr)
' PVTstr     закодированная строка с параметрами PVT.
'            если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число - плотность ГЖС, кг/м3.

```

## A.16 MF\_RpGasFraction\_m3m3

```
' расчет газового фактора
' при котором достигается заданная доля газа в потоке
Public Function MF_RpGasFraction_m3m3(ByVal FreeGas_d As Double, _
                                       ByVal P_atma As Double, _
                                       ByVal T_C As Double, _
                                       ByVal fw_perc As Double, _
                                       Optional ByVal PVTstr As String =
                                       ,→ PVT_DEFAULT) As Double

' обязательные аргументы функции
' FreeGas_d допустимая доля газа в потоке
' P_atma      давление, атм
' T_C         температура, С.
' опциональные аргументы функции
' PVTstr      закодированная строка с параметрами PVT.
'             если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число - газовый фактор, м3/м3.
```

## A.17 MF\_SeparNat\_d

```
' расчет натуральной сепарации газа на приеме насоса
Public Function MF_SeparNat_d(ByVal Pin_atma As Double, _
                              ByVal Qliq_m3day As Double, _
                              Optional ByVal fw_perc As Double = 0, _
                              Optional ByVal Tin_C As Double = 50, _
                              Optional ByVal dIntake_mm As Double = 90, _
                              Optional ByVal dCas_mm As Double = 120, _
                              Optional ByVal wc_perc = 0, _
                              Optional ByVal PVTstr As String =
                              ,→ PVT_DEFAULT) As Double

'-----
' Pin_atma      - давление сепарации
' Qliq_m3day    - дебит жидкости в поверхностных условиях
' fw_perc       - обводненность
```



```

' Tin_C          - температура сепарации
' dintake_mm     - диаметр приемной сетки
' dcas_mm        - диаметр эксплуатационной колонны
' PVTstr         закодированная строка с параметрами PVT.
'               - если задана - перекрывает другие значения

```

### A.18 MF\_SeparTotal\_d

```

Public Function MF_SeparTotal_d(SepNat As Double, _
                               SepGasSep As Double) As Double
' SepNat          - естественная сепарация
' SepGasSep       - искусственная сепарация (газосепаратор)

```

### A.19 PVT\_Bg\_m3m3

```

' функция расчета объемного коэффициента газа
Public Function PVT_Bg_m3m3(P_atma, T_C, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg_, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go_, _
    Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw_, _
    Optional ByVal rsb_m3m3 = const_Rsb_default, _
    Optional ByVal Rp_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Pb_atma = -1, _
    Optional ByVal Tres_C = const_Tres_default, _
    Optional ByVal Bob_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Muob_cP = -1, _
    Optional ByVal PVTcorr = StandingBased, _
    Optional ByVal Ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal PKsep_atma = -1, _
    Optional ByVal TKsep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
) As Double
' обязательные аргументы функции

```

```

' P_atma      давление, атм
' T_C         температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas   удельная плотность газа, по воздуху.
'              const_gg_ = 0.6
' gamma_oil   удельная плотность нефти, по воде.
'              const_go_ = 0.86
' gamma_wat   удельная плотность воды, по воде.
'              const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3    газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'              const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3     замерной газовый фактор, м3/м3.
'              имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma     Давление насыщения при температуре Tres_C, атма.
'              Опциональный калибровочный параметр,
'              если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C      пластовая температура, С.
'              Учитывается при расчете давления насыщения.
'              const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3    объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP     вязкость нефти при давлении насыщения
'              По умолчанию рассчитывается по корреляции
' PVTcorr     номер набора PVT корреляций для расчета
'              StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'              McCainBased = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'              StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr     коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'              нефти после сепарации доли свободного газа.
'              изменение свойств нефти зависит от условий
'              сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma   давление при которой была сепарация
' TKsep_C      температура при которой была сепарация
' PVTstr       закодированная строка с параметрами PVT.
'              если задана - перекрывает другие значения
'
' Возвращает значение объемного коэффициента газа, м3/м3
' для заданных термобарических условий.
' В основе расчета корреляция для z фактора

```

## A.20 PVT\_Bo\_m3m3

```
' расчет объемного коэффициента нефти
Public Function PVT_Bo_m3m3(P_atma, T_C, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg_, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go_, _
    Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw_, _
    Optional ByVal rsb_m3m3 = const_Rsb_default, _
    Optional ByVal Rp_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Pb_atma = -1, _
    Optional ByVal Tres_C = const_Tres_default, _
    Optional ByVal Bob_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Muob_cP = -1, _
    Optional ByVal PVTcorr = StandingBased, _
    Optional ByVal Ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal PKsep_atma = -1, _
    Optional ByVal TKsep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
) As Double

' обязательные аргументы функции
' P_atma      давление, атм
' T_C         температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas  удельная плотность газа, по воздуху.
'             const_gg_ = 0.6
' gamma_oil  удельная плотность нефти, по воде.
'             const_go_ = 0.86
' gamma_wat  удельная плотность воды, по воде.
'             const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3   газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'             const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3    замерной газовый фактор, м3/м3.
'             имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma    Давление насыщения при температуре Tres_C, атма.
'             Опциональный калибровочный параметр,
'             если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C     пластовая температура, С.
'             Учитывается при расчете давления насыщения.
'             const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3   объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP    вязкость нефти при давлении насыщения
```

```

'           По умолчанию рассчитывается по корреляции
' PVTcorr    номер набора PVT корреляций для расчета
'           StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'           McCainBased = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'           StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr    коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'           нефти после сепарации доли свободного газа.
'           изменение свойств нефти зависит от условий
'           сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma  давление при которой была сепарация
' TKsep_C     температура при которой была сепарация
' PVTstr      закодированная строка с параметрами PVT.
'           если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число
' Возвращает значение объемного коэффициента нефти, м3/м3
' для заданных термобарических условий.
' В основе расчета корреляции PVT

```

## A.21 PVT\_Bw\_m3m3

```

' расчет объемного коэффициента воды
Public Function PVT_Bw_m3m3(P_atma, T_C, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go, _
    Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw, _
    Optional ByVal rsb_m3m3 = const_Rsb_default, _
    Optional ByVal Rp_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Pb_atma = -1, _
    Optional ByVal Tres_C = const_Tres_default, _
    Optional ByVal Bob_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Muob_cP = -1, _
    Optional ByVal PVTcorr = StandingBased, _
    Optional ByVal Ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal PKsep_atma = -1, _
    Optional ByVal TKsep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
) As Double

```

```

' обязательные аргументы функции
' P_atma      давление, атм
' T_C         температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas   удельная плотность газа, по воздуху.
'              const_gg_ = 0.6
' gamma_oil   удельная плотность нефти, по воде.
'              const_go_ = 0.86
' gamma_wat   удельная плотность воды, по воде.
'              const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3    газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'              const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3     замерной газовый фактор, м3/м3.
'              имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma     Давление насыщения при температуре Tres_C, атма.
'              Опциональный калибровочный параметр,
'              если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C      пластовая температура, С.
'              Учитывается при расчете давления насыщения.
'              const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3    объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP     вязкость нефти при давлении насыщения
'              По умолчанию рассчитывается по корреляции
' PVTcorr     номер набора PVT корреляций для расчета
'              StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'              McCainBased = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'              StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr     коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'              нефти после сепарации доли свободного газа.
'              изменение свойств нефти зависит от условий
'              сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma   давление при которой была сепарация
' TKsep_C      температура при которой была сепарация
' PVTstr       закодированная строка с параметрами PVT.
'              если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число
' Возвращает значение объемного коэффициента воды, м3/м3
' для заданных термобарических условий.

```

## A.22 PVT\_Mug\_cP

```
' расчет вязкости газа
Public Function PVT_Mug_cP(P_atma, T_C, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg_, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go_, _
    Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw_, _
    Optional ByVal rsb_m3m3 = const_Rsb_default, _
    Optional ByVal Rp_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Pb_atma = -1, _
    Optional ByVal Tres_C = const_Tres_default, _
    Optional ByVal Bob_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Muob_cP = -1, _
    Optional ByVal PVTcorr = StandingBased, _
    Optional ByVal Ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal PKsep_atma = -1, _
    Optional ByVal TKsep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
) As Double

' обязательные аргументы функции
' P_atma      давление, атм
' T_C         температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas  удельная плотность газа, по воздуху.
'             const_gg_ = 0.6
' gamma_oil  удельная плотность нефти, по воде.
'             const_go_ = 0.86
' gamma_wat  удельная плотность воды, по воде.
'             const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3   газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'             const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3    замерной газовый фактор, м3/м3.
'             имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma    Давление насыщения при температуре Tres_C, атма.
'             Опциональный калибровочный параметр,
'             если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C     пластовая температура, С.
'             Учитывается при расчете давления насыщения.
'             const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3   объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP    вязкость нефти при давлении насыщения
```

```

'           По умолчанию рассчитывается по корреляции
' PVTcorr    номер набора PVT корреляций для расчета
'           StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'           McCainBased = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'           StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr    коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'           нефти после сепарации доли свободного газа.
'           изменение свойств нефти зависит от условий
'           сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma  давление при которой была сепарация
' TKsep_C    температура при которой была сепарация
' PVTstr     закодированная строка с параметрами PVT.
'           если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число - вязкость газа
'           при заданных термобарических условиях, сП

```

## A.23 PVT\_Muo\_cP

```

' расчет вязкости нефти
Public Function PVT_Muo_cP(P_atma, T_C, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go, _
    Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw, _
    Optional ByVal rsb_m3m3 = const_Rsb_default, _
    Optional ByVal Rp_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Pb_atma = -1, _
    Optional ByVal Tres_C = const_Tres_default, _
    Optional ByVal Bob_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Muob_cP = -1, _
    Optional ByVal PVTcorr = StandingBased, _
    Optional ByVal Ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal PKsep_atma = -1, _
    Optional ByVal TKsep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
) As Double
' обязательные аргументы функции
' P_atma    давление, атм

```

```

' T_C      температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas удельная плотность газа, по воздуху.
'          const_gg_ = 0.6
' gamma_oil удельная плотность нефти, по воде.
'          const_go_ = 0.86
' gamma_wat удельная плотность воды, по воде.
'          const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3 газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'          const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3   замерной газовый фактор, м3/м3.
'          имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma   Давление насыщения при температуре Tres_C, атма.
'          Опциональный калибровочный параметр,
'          если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C    пластовая температура, С.
'          Учитывается при расчете давления насыщения.
'          const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3  объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP   вязкость нефти при давлении насыщения
'          По умолчанию рассчитывается по корреляции
' PVTcorr   номер набора PVT корреляций для расчета
'          StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'          McCainBased = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'          StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr   коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'          нефти после сепарации доли свободного газа.
'          изменение свойств нефти зависит от условий
'          сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma давление при которой была сепарация
' TKsep_C   температура при которой была сепарация
' PVTstr    закодированная строка с параметрами PVT.
'          если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число - вязкость нефти
'          при заданных термобарических условиях, сП

```



## A.24 PVT\_Muw\_cP

```
' расчет вязкости воды
Public Function PVT_Muw_cP(P_atma, T_C, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg_, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go_, _
    Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw_, _
    Optional ByVal rsb_m3m3 = const_Rsb_default, _
    Optional ByVal Rp_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Pb_atma = -1, _
    Optional ByVal Tres_C = const_Tres_default, _
    Optional ByVal Bob_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Muob_cP = -1, _
    Optional ByVal PVTcorr = StandingBased, _
    Optional ByVal Ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal PKsep_atma = -1, _
    Optional ByVal TKsep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
) As Double

' обязательные аргументы функции
' P_atma      давление, атм
' T_C         температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas  удельная плотность газа, по воздуху.
'             const_gg_ = 0.6
' gamma_oil  удельная плотность нефти, по воде.
'             const_go_ = 0.86
' gamma_wat  удельная плотность воды, по воде.
'             const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3   газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'             const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3    замерной газовый фактор, м3/м3.
'             имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma    Давление насыщения при температуре Tres_C, атма.
'             Опциональный калибровочный параметр,
'             если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C     пластовая температура, С.
'             Учитывается при расчете давления насыщения.
'             const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3   объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP    вязкость нефти при давлении насыщения
```

```

'          По умолчанию рассчитывается по корреляции
' PVTcorr   номер набора PVT корреляций для расчета
'          StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'          McCainBased = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'          StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr   коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'          нефти после сепарации доли свободного газа.
'          изменение свойств нефти зависит от условий
'          сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma   давление при которой была сепарация
' TKsep_C     температура при которой была сепарация
' PVTstr      закодированная строка с параметрами PVT.
'             если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число - вязкость воды
'             при заданных термобарических условиях, сП

```

## A.25 PVT\_Pb\_atma

```

' Расчет давления насыщения
Public Function PVT_Pb_atma(T_C, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go, _
    Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw, _
    Optional ByVal rsb_m3m3 = const_Rsb_default, _
    Optional ByVal Rp_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Pb_atma = -1, _
    Optional ByVal Tres_C = const_Tres_default, _
    Optional ByVal Bob_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Muob_cP = -1, _
    Optional ByVal PVTcorr = StandingBased, _
    Optional ByVal Ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal PKsep_atma = -1, _
    Optional ByVal TKsep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
) As Double
' обязательные аргументы функции
' P_atma   давление, атм

```

```

' T_C      температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas удельная плотность газа, по воздуху.
'          const_gg_ = 0.6
' gamma_oil удельная плотность нефти, по воде.
'          const_go_ = 0.86
' gamma_wat удельная плотность воды, по воде.
'          const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3 газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'          const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3   замерной газовый фактор, м3/м3.
'          имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma   Давление насыщения при температуре Tres_C, атма.
'          Опциональный калибровочный параметр,
'          если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C    пластовая температура, С.
'          Учитывается при расчете давления насыщения.
'          const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3  объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP   вязкость нефти при давлении насыщения
'          По умолчанию рассчитывается по корреляции
' PVTcorr   номер набора PVT корреляций для расчета
'          StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'          McCainBased = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'          StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr   коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'          нефти после сепарации доли свободного газа.
'          изменение свойств нефти зависит от условий
'          сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma давление при которой была сепарация
' TKsep_C   температура при которой была сепарация
' PVTstr     закодированная строка с параметрами PVT.
'          если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число - давление насыщения.

```

## A.26 PVT\_Rhog\_kgm3

```
' расчет плотности газа
Public Function PVT_Rhog_kgm3(P_atma, T_C, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg_, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go_, _
    Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw_, _
    Optional ByVal rsb_m3m3 = const_Rsb_default, _
    Optional ByVal Rp_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Pb_atma = -1, _
    Optional ByVal Tres_C = const_Tres_default, _
    Optional ByVal Bob_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Muob_cP = -1, _
    Optional ByVal PVTcorr = StandingBased, _
    Optional ByVal Ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal PKsep_atma = -1, _
    Optional ByVal TKsep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
) As Double

' обязательные аргументы функции
' P_atma      давление, атм
' T_C         температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas  удельная плотность газа, по воздуху.
'             const_gg_ = 0.6
' gamma_oil  удельная плотность нефти, по воде.
'             const_go_ = 0.86
' gamma_wat  удельная плотность воды, по воде.
'             const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3   газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'             const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3    замерной газовый фактор, м3/м3.
'             имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma    Давление насыщения при температуре Tres_C, атма.
'             Опциональный калибровочный параметр,
'             если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C     пластовая температура, С.
'             Учитывается при расчете давления насыщения.
'             const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3   объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP    вязкость нефти при давлении насыщения
```

```

'           По умолчанию рассчитывается по корреляции
' PVTcorr    номер набора PVT корреляций для расчета
'           StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'           McCainBased = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'           StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr    коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'           нефти после сепарации доли свободного газа.
'           изменение свойств нефти зависит от условий
'           сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma  давление при которой была сепарация
' TKsep_C    температура при которой была сепарация
' PVTstr     закодированная строка с параметрами PVT.
'           если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число - плотность газа
'           при заданных термобарических условиях, кг/м3.

```

## A.27 PVT\_Rhoo\_kgm3

```

' расчет плотности нефти
Public Function PVT_Rhoo_kgm3(P_atma, T_C, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go, _
    Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw, _
    Optional ByVal rsb_m3m3 = const_Rsb_default, _
    Optional ByVal Rp_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Pb_atma = -1, _
    Optional ByVal Tres_C = const_Tres_default, _
    Optional ByVal Bob_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Muob_cP = -1, _
    Optional ByVal PVTcorr = StandingBased, _
    Optional ByVal Ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal PKsep_atma = -1, _
    Optional ByVal TKsep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
) As Double
' обязательные аргументы функции
' P_atma    давление, атм

```

```

' T_C      температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas удельная плотность газа, по воздуху.
'          const_gg_ = 0.6
' gamma_oil удельная плотность нефти, по воде.
'          const_go_ = 0.86
' gamma_wat удельная плотность воды, по воде.
'          const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3 газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'          const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3   замерной газовый фактор, м3/м3.
'          имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma   Давление насыщения при температуре Tres_C, атма.
'          Опциональный калибровочный параметр,
'          если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C    пластовая температура, С.
'          Учитывается при расчете давления насыщения.
'          const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3  объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP   вязкость нефти при давлении насыщения
'          По умолчанию рассчитывается по корреляции
' PVTcorr   номер набора PVT корреляций для расчета
'          StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'          McCainBased = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'          StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr   коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'          нефти после сепарации доли свободного газа.
'          изменение свойств нефти зависит от условий
'          сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma давление при которой была сепарация
' TKsep_C   температура при которой была сепарация
' PVTstr     закодированная строка с параметрами PVT.
'          если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число - плотность нефти
'          при заданных термобарических условиях, кг/м3.

```

## A.28 PVT\_Rhow\_kgm3

```
' расчет плотности воды
Public Function PVT_Rhow_kgm3(P_atma, T_C, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg_, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go_, _
    Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw_, _
    Optional ByVal rsb_m3m3 = const_Rsb_default, _
    Optional ByVal Rp_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Pb_atma = -1, _
    Optional ByVal Tres_C = const_Tres_default, _
    Optional ByVal Bob_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Muob_cP = -1, _
    Optional ByVal PVTcorr = StandingBased, _
    Optional ByVal Ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal PKsep_atma = -1, _
    Optional ByVal TKsep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
) As Double

' обязательные аргументы функции
' P_atma      давление, атм
' T_C         температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas  удельная плотность газа, по воздуху.
'             const_gg_ = 0.6
' gamma_oil  удельная плотность нефти, по воде.
'             const_go_ = 0.86
' gamma_wat  удельная плотность воды, по воде.
'             const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3   газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'             const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3    замерной газовый фактор, м3/м3.
'             имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma    Давление насыщения при температуре Tres_C, атма.
'             Опциональный калибровочный параметр,
'             если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C     пластовая температура, С.
'             Учитывается при расчете давления насыщения.
'             const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3   объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP    вязкость нефти при давлении насыщения
```

```

'          По умолчанию рассчитывается по корреляции
' PVTcorr   номер набора PVT корреляций для расчета
'          StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'          McCainBased = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'          StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr   коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'          нефти после сепарации доли свободного газа.
'          изменение свойств нефти зависит от условий
'          сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma   давление при которой была сепарация
' TKsep_C     температура при которой была сепарация
' PVTstr      закодированная строка с параметрами PVT.
'             если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число - плотность воды
'             при заданных термобарических условиях, кг/м3.

```

## A.29 PVT\_Rs\_m3m3

```

' расчет газосодержания
Public Function PVT_Rs_m3m3(P_atma, T_C, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg_, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go_, _
    Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw_, _
    Optional ByVal rsb_m3m3 = const_Rsb_default, _
    Optional ByVal Rp_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Pb_atma = -1, _
    Optional ByVal Tres_C = const_Tres_default, _
    Optional ByVal Bob_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Muob_cP = -1, _
    Optional ByVal PVTcorr = StandingBased, _
    Optional ByVal Ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal PKsep_atma = -1, _
    Optional ByVal TKsep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
) As Double
' обязательные аргументы функции
' P_atma   давление, атм

```



```

' T_C      температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas удельная плотность газа, по воздуху.
'          const_gg_ = 0.6
' gamma_oil удельная плотность нефти, по воде.
'          const_go_ = 0.86
' gamma_wat удельная плотность воды, по воде.
'          const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3 газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'          const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3   замерной газовый фактор, м3/м3.
'          имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma   Давление насыщения при температуре Tres_C, атма.
'          Опциональный калибровочный параметр,
'          если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C    пластовая температура, С.
'          Учитывается при расчете давления насыщения.
'          const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3  объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP   вязкость нефти при давлении насыщения
'          По умолчанию рассчитывается по корреляции
' PVTcorr   номер набора PVT корреляций для расчета
'          StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'          McCainBased = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'          StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr   коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'          нефти после сепарации доли свободного газа.
'          изменение свойств нефти зависит от условий
'          сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma давление при которой была сепарация
' TKsep_C    температура при которой была сепарация
' PVTstr     закодированная строка с параметрами PVT.
'          если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число - газосодержание при
'          заданных термобарических условиях, м3/м3.

```

### A.30 PVT\_Sal\_ppm

```
' расчет объемного коэффициента воды
Public Function PVT_Sal_ppm(P_atma, T_C, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg_, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go_, _
    Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw_, _
    Optional ByVal rsb_m3m3 = const_Rsb_default, _
    Optional ByVal Rp_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Pb_atma = -1, _
    Optional ByVal Tres_C = const_Tres_default, _
    Optional ByVal Bob_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Muob_cP = -1, _
    Optional ByVal PVTcorr = StandingBased, _
    Optional ByVal Ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal PKsep_atma = -1, _
    Optional ByVal TKsep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
) As Double

' обязательные аргументы функции
' P_atma      давление, атм
' T_C         температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas  удельная плотность газа, по воздуху.
'             const_gg_ = 0.6
' gamma_oil  удельная плотность нефти, по воде.
'             const_go_ = 0.86
' gamma_wat  удельная плотность воды, по воде.
'             const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3   газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'             const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3    замерной газовый фактор, м3/м3.
'             имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma    Давление насыщения при температуре Tres_C, атма.
'             Опциональный калибровочный параметр,
'             если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C     пластовая температура, С.
'             Учитывается при расчете давления насыщения.
'             const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3   объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP    вязкость нефти при давлении насыщения
```

```

'          По умолчанию рассчитывается по корреляции
' PVTcorr    номер набора PVT корреляций для расчета
'          StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'          McCainBased = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'          StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr    коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'          нефти после сепарации доли свободного газа.
'          изменение свойств нефти зависит от условий
'          сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma    давление при которой была сепарация
' TKsep_C      температура при которой была сепарация
' PVTstr      закодированная строка с параметрами PVT.
'          если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число
' Возвращает соленость воды, ppm
' для заданных термобарических условий.

```

### A.31 PVT\_STliqgas\_Nm

```

' расчет коэффициента поверхностного натяжения жидкость - газ
Public Function PVT_STliqgas_Nm(P_atma, T_C, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg_, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go_, _
    Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw_, _
    Optional ByVal rsb_m3m3 = const_Rsb_default, _
    Optional ByVal Rp_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Pb_atma = -1, _
    Optional ByVal Tres_C = const_Tres_default, _
    Optional ByVal Bob_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Muob_cP = -1, _
    Optional ByVal PVTcorr = StandingBased, _
    Optional ByVal Ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal PKsep_atma = -1, _
    Optional ByVal TKsep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
) As Double
' обязательные аргументы функции

```

```

' P_atma      давление, атм
' T_C        температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas  удельная плотность газа, по воздуху.
'             const_gg_ = 0.6
' gamma_oil  удельная плотность нефти, по воде.
'             const_go_ = 0.86
' gamma_wat  удельная плотность воды, по воде.
'             const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3   газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'             const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3    замерной газовый фактор, м3/м3.
'             имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma    Давление насыщения при температуре Tres_C, атма.
'             Опциональный калибровочный параметр,
'             если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C     пластовая температура, С.
'             Учитывается при расчете давления насыщения.
'             const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3   объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP    вязкость нефти при давлении насыщения
'             По умолчанию рассчитывается по корреляции
' PVTcorr    номер набора PVT корреляций для расчета
'             StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'             McCainBased = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'             StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr     коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'             нефти после сепарации доли свободного газа.
'             изменение свойств нефти зависит от условий
'             сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma  давление при которой была сепарация
' TKsep_C     температура при которой была сепарация
' PVTstr      закодированная строка с параметрами PVT.
'             если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число
' Возвращает коэффициента поверхностного натяжения жидкость - газ, Нм
' для заданных термобарических условий.

```

### A.32 PVT\_SToilgas\_Nm

```
' расчет коэффициента поверхностного натяжения нефть - газ
Public Function PVT_SToilgas_Nm(P_atma, T_C, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg_, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go_, _
    Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw_, _
    Optional ByVal rsb_m3m3 = const_Rsb_default, _
    Optional ByVal Rp_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Pb_atma = -1, _
    Optional ByVal Tres_C = const_Tres_default, _
    Optional ByVal Bob_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Muob_cP = -1, _
    Optional ByVal PVTcorr = StandingBased, _
    Optional ByVal Ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal PKsep_atma = -1, _
    Optional ByVal TKsep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
) As Double

' обязательные аргументы функции
' P_atma    давление, атм
' T_C      температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas удельная плотность газа, по воздуху.
'           const_gg_ = 0.6
' gamma_oil удельная плотность нефти, по воде.
'           const_go_ = 0.86
' gamma_wat удельная плотность воды, по воде.
'           const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3  газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'           const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3   замерной газовый фактор, м3/м3.
'           имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma   Давление насыщения при температуре Tres_C, атма.
'           Опциональный калибровочный параметр,
'           если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C    пластовая температура, С.
'           Учитывается при расчете давления насыщения.
'           const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3  объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP   вязкость нефти при давлении насыщения
```

```

'           По умолчанию рассчитывается по корреляции
' PVTcorr    номер набора PVT корреляций для расчета
'           StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'           McCainBased = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'           StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr    коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'           нефти после сепарации доли свободного газа.
'           изменение свойств нефти зависит от условий
'           сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma  давление при которой была сепарация
' TKsep_C     температура при которой была сепарация
' PVTstr      закодированная строка с параметрами PVT.
'           если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число
' Возвращает коэффициента поверхностного натяжения нефть - газ, Нм
' для заданных термобарических условий.

```

### A.33 PVT\_STwatgas\_Nm

```

' расчет коэффициента поверхностного натяжения вода - газ
Public Function PVT_STwatgas_Nm(P_atma, T_C, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg_, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go_, _
    Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw_, _
    Optional ByVal rsb_m3m3 = const_Rsb_default, _
    Optional ByVal Rp_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Pb_atma = -1, _
    Optional ByVal Tres_C = const_Tres_default, _
    Optional ByVal Bob_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Muob_cP = -1, _
    Optional ByVal PVTcorr = StandingBased, _
    Optional ByVal Ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal PKsep_atma = -1, _
    Optional ByVal TKsep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
) As Double
' обязательные аргументы функции

```

```

' P_atma      давление, атм
' T_C         температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas  удельная плотность газа, по воздуху.
'             const_gg_ = 0.6
' gamma_oil  удельная плотность нефти, по воде.
'             const_go_ = 0.86
' gamma_wat  удельная плотность воды, по воде.
'             const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3    газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'             const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3     замерной газовый фактор, м3/м3.
'             имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma     Давление насыщения при температуре Tres_C, атма.
'             Опциональный калибровочный параметр,
'             если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C      пластовая температура, С.
'             Учитывается при расчете давления насыщения.
'             const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3    объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP     вязкость нефти при давлении насыщения
'             По умолчанию рассчитывается по корреляции
' PVTcorr     номер набора PVT корреляций для расчета
'             StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'             McCainBased = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'             StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr     коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'             нефти после сепарации доли свободного газа.
'             изменение свойств нефти зависит от условий
'             сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma  давление при которой была сепарация
' TKsep_C     температура при которой была сепарация
' PVTstr      закодированная строка с параметрами PVT.
'             если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число
' Возвращает коэффициента поверхностного натяжения вода - газ, Нм
' для заданных термобарических условий.

```

## A.34 PVT\_Z

```

' расчет коэффициента сверхсжимаемости газа
Public Function PVT_Z(P_atma, T_C, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg_, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go_, _
    Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw_, _
    Optional ByVal rsb_m3m3 = const_Rsb_default, _
    Optional ByVal Rp_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Pb_atma = -1, _
    Optional ByVal Tres_C = const_Tres_default, _
    Optional ByVal Bob_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal Muob_cP = -1, _
    Optional ByVal PVTcorr = StandingBased, _
    Optional ByVal Ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal PKsep_atma = -1, _
    Optional ByVal TKsep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
) As Double

' обязательные аргументы функции
' P_atma      давление, атм
' T_C         температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas  удельная плотность газа, по воздуху.
'             const_gg_ = 0.6
' gamma_oil  удельная плотность нефти, по воде.
'             const_go_ = 0.86
' gamma_wat  удельная плотность воды, по воде.
'             const_gw_ = 1
' Rsb_m3m3   газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'             const_Rsb_default = 100
' Rp_m3m3    замерной газовый фактор, м3/м3.
'             имеет приоритет перед Rsb если Rp < Rsb
' Pb_atma    Давление насыщения при температуре Tres_C, атма.
'             Опциональный калибровочный параметр,
'             если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' Tres_C     пластовая температура, С.
'             Учитывается при расчете давления насыщения.
'             const_Tres_default = 90
' Bob_m3m3   объемный коэффициент нефти, м3/м3.
' Muob_cP    вязкость нефти при давлении насыщения

```



```

'          По умолчанию рассчитывается по корреляции
' PVTcorr    номер набора PVT корреляций для расчета
'          StandingBased = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'          McCainBased = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'          StraigthLine = 2 - на основе упрощенных зависимостей
' Ksep_fr    коэффициент сепарации - определяет изменение свойств
'          нефти после сепарации доли свободного газа.
'          изменение свойств нефти зависит от условий
'          сепарации газа, которые должны быть явно заданы
' PKsep_atma  давление при которой была сепарация
' TKsep_C     температура при которой была сепарация
' PVTstr      закодированная строка с параметрами PVT.
'             если задана - перекрывает другие значения
'
' выходное значение - число - z фактор газа.
'             коэффициент сверхсжимаемости газа,
'             безразмерная величина

```