

На правах рукописи

Руководство пользователя

Unifloc 7 VBA

вер 0.7

Хабибуллин Ринат
Кобзарь Олег

Москва 2019

Оглавление

	Стр.
Введение	8
Глава 1. Макросы VBA для проведения расчётов	9
1.1 Работа с VBA	9
1.2 Установка надстройки для автоматического запуска	9
1.3 Ручной запуск надстройки	10
1.4 Редактор VBE	10
1.5 Особенности VBA и соглашения Unifloc 7.9 VBA	11
Глава 2. Модель ”пласт - скважина - скважинное оборудование” и пользовательские функции Unifloc 7.9 VBA	13
2.1 Физико-химические свойства флюидов - PVT	13
2.1.1 Обозначения PVT параметров	14
2.1.2 Стандартные условия	16
2.1.3 PVT_pb_atma давление насыщения	17
2.1.4 PVT_rs_m3m3 – газосодержание	19
2.1.5 PVT_bo_m3m3 – объёмный коэффициент нефти	22
2.1.6 PVT_bg_m3m3 – объёмный коэффициент газа	25
2.1.7 PVT_bw_m3m3 – объёмный коэффициент воды	27
2.1.8 PVT_mu_o_cP – вязкость нефти	29
2.1.9 PVT_mu_g_cP – вязкость газа	32
2.1.10 PVT_mu_w_cP – вязкость воды	34
2.1.11 PVT_rho_o_kgm3 – плотность нефти	36
2.1.12 PVT_rho_g_kgm3 – плотность газа	37
2.1.13 PVT_rho_w_kgm3 – плотность воды	39
2.1.14 PVT_Z – коэффициент сжимаемости газа	41
2.2 Расчёт свойств потока	44
2.2.1 MF_qmix_m3day – расход газожидкостной смеси	44
2.2.2 MF_rho_mix_kgm3 – плотность газожидкостной смеси	44
2.2.3 MF_gas_fraction_d – доля газа в потоке	45

2.2.4	MF_p_gas_fraction_atma – целевое давления для заданной доли газа в потоке	46
2.2.5	MF_rp_gas_fraction_m3m3 – целевой газовый фактор для заданной доли газа в потоке	46
2.3	Сепарация газа в скважине	47
2.3.1	MF_ksep_natural_d – естественная сепарация газа	47
2.3.2	MF_ksep_gasseparator_d – сепарация газа роторным газосепаратором	48
2.3.3	MF_ksep_total_d – общая сепарация газа	50
2.4	Расчёт многофазного потока в штуцере	50
2.4.1	Модель потока через штуцер	50
2.4.2	MF_p_choke_atma – Расчет давления на входе или на выходе штуцера	51
2.4.3	MF_dp_choke_atm – Расчёт перепада давления в штуцере	52
2.4.4	MF_qliq_choke_sm3day – функция расчёта дебита жидкости через штуцер	53
2.4.5	MF_cf_choke_fr – функция настройки модели штуцера	54
2.5	Расчет многофазного потока в трубе	56
2.5.1	MF_dp_pipe_atm – расчёт перепада давления в трубе	58
2.5.2	MF_p_pipe_atma – функция расчета давления на конце трубы	60
2.5.3	MF_p_pipe_znlf_atma – функция расчета давления на конце трубы при барботаже	61
2.5.4	MF_dpdl_atmm – функция расчета градиента давления по многофазной корреляции	63
2.6	Расчет многофазного потока в пласте	64
2.6.1	IPR_pi_sm3dayatm – расчёт продуктивности	66
2.6.2	IPR_pwf_atm – расчёт забойного давления по дебиту и продуктивности	67
2.6.3	IPR_qliq_sm3day – расчёт дебита по забойному давлению и продуктивности	67
2.7	Расчет УЭЦН	69
2.7.1	ESP_head_m – расчёт номинального напора ЭЦН	71
2.7.2	ESP_eff_fr – расчёт номинального КПД ЭЦН	72

2.7.3	ESP_power_W – расчёт номинальной мощности потребляемой ЭЦН	72
2.7.4	ESP_id_by_rate – выбор типового насоса по номинальному дебиту	73
2.7.5	ESP_dp_atm – расчет перепада давления развиваемого ЭЦН	74
2.7.6	ESP_system_calc – расчет параметров работы УЭЦН	75
2.7.7	Электромеханический расчёт погружного электрического двигателя ПЭД	76
2.8	Технологический режим добывающих скважин	82
2.8.1	tr_Pwf_calc_atma – расчёт забойного давления по динамическому уровню	83
2.8.2	tr_Pwf_calc_Pin_atma – расчёт забойного давления по давлению на приеме	83
2.8.3	tr_Rpump_calc_atma – расчёт давления на приеме по динамическому уровню	84
2.8.4	tr_Potential_Pwf_atma – расчёт целевого забойного давления по доле газа	84
2.8.5	tr_BB_Pwf_atma – расчёт забойного давления фонтанирующей скважины по буферному давлению	84
2.8.6	tr_BB_Pwf_Pin_atma – расчёт забойного давления по давлению на приеме по корреляции Беггса-Брилла	85

Глава 3. Упражнения по работе с пользовательскими функциями

	Unifloc 7.9 VBA	86
3.1	Расчет PVT свойств	86
3.2	Расчет производительности скважины	91
3.3	Расчет свойств многофазного потока	93
3.4	Расчет штуцера	96
3.5	Расчет распределения давления в трубе	99
3.6	Расчет коэффициентов сепарации	101
3.7	Анализ работы ЭЦН	102
3.8	Анализ работы ПЭД	107
3.9	Анализ работы фонтанирующей скважины	110
3.10	Анализ работы скважины, оснащенной УЭЦН	113

3.11 Анализ работы скважины, оснащенной ЭЦН, фонтанирующей через затрубное пространство	117
3.12 Набор расчетных модулей анализа скважины	119
3.12.1 Расчетный модуль анализа и настройки PVT свойств	120
Единицы измерений	122
Список сокращений и условных обозначений	123
Словарь терминов	124
Список литературы	126
Приложение А. Автоматически сгенерированное описание	127
A.1 crv_interpolation	128
A.2 crv_intersection	128
A.3 crv_solve	129
A.4 ESP_decode_string	129
A.5 ESP_dp_atm	130
A.6 ESP_eff_fr	131
A.7 ESP_encode_string	132
A.8 ESP_head_m	133
A.9 ESP_id_by_rate	134
A.10 ESP_max_rate_m3day	134
A.11 ESP_name	135
A.12 ESP_optRate_m3day	135
A.13 ESP_power_W	135
A.14 ESP_system_calc	136
A.15 IPR_pi_sm3dayatm	137
A.16 IPR_pwf_atma	137
A.17 IPR_qliq_sm3day	138
A.18 MF_cf_choke_fr	138
A.19 MF_CJT_Katm	139
A.20 MF_dpdl_atmm	139
A.21 MF_dp_choke_atm	140

A.22 MF_dp_pipe_atm	141
A.23 MF_gasseparator_name	143
A.24 MF_gas_fraction_d	144
A.25 MF_ksep_gasseparator_d	144
A.26 MF_ksep_natural_d	146
A.27 MF_ksep_total_d	146
A.28 MF_mu_mix_cP	147
A.29 MF_p_choke_atma	147
A.30 MF_p_gas_fraction_atma	148
A.31 MF_p_pipe_atma	149
A.32 MF_p_pipe_znlf_atma	150
A.33 MF_qliq_choke_sm3day	152
A.34 MF_q_mix_rc_m3day	152
A.35 MF_rhomix_kgm3	153
A.36 MF_rp_gas_fraction_m3m3	153
A.37 motor_CosPhi_d	154
A.38 motor_CosPhi_slip	155
A.39 motor_Eff_d	155
A.40 motor_Eff_slip	156
A.41 motor_I_A	157
A.42 motor_I_slip_A	157
A.43 motor_M_Nm	158
A.44 motor_M_slip_Nm	159
A.45 motor_Name	159
A.46 motor_Pnom_kW	160
A.47 motor_S_d	160
A.48 nodal_qliq_sm3day	161
A.49 PVT_bg_m3m3	162
A.50 PVT_bo_m3m3	164
A.51 PVT_bw_m3m3	165
A.52 PVT_decode_string	167
A.53 PVT_encode_string	167
A.54 PVT_mu_gas_cP	169

A.55 PVT_mu_oil_cP	170
A.56 PVT_mu_wat_cP	172
A.57 PVT_pb_atma	173
A.58 PVT_rhog_kgm3	175
A.59 PVT_rhoo_kgm3	176
A.60 PVT_rhow_kgm3	178
A.61 PVT_rs_m3m3	179
A.62 PVT_salinity_ppm	181
A.63 PVT_STliqgas_Nm	182
A.64 PVT_SToilgas_Nm	184
A.65 PVT_STwatgas_Nm	185
A.66 PVT_z	187
A.67 wellGL_decode_string	188
A.68 wellGL_encode_string	189
A.69 well_calcKdegr_fr	190
A.70 well_decode_string	191
A.71 well_encode_string	191
A.72 well_Pintake_pwf_atma	192
A.73 well_plin_pwf_atma	193
A.74 well_pwf_Hdyn_atma	194
A.75 well_pwf_plin_atma	195

Введение

Документ описывает набор макросов и функций Unifloc 7.9 VBA для проведения инженерных расчетов систем нефтедобычи в Excel. Модуль предназначен для изучения математических моделей систем нефтедобычи и развития навыков проведения инженерных расчётов.

Макросы и функции Unifloc 7.9 VBA охватывают основные элементы математических моделей систем «пласт - скважина - скважинное оборудование» - модель физико-химических свойств пластовых флюидов (PVT модель), модели многофазного потока в трубах, в скважинном оборудовании, в пласте, модели скважин и узлового анализа систем нефтедобычи.

Для использования Unifloc 7.9 VBA требуются навыки уверенного пользователя MS Excel, желательно знание основ программирования и теории добычи нефти.

Алгоритмы реализованные в Unifloc 7.9 VBA 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 7.9 VBA). Все приводится как есть. Более надёжным способом получения достоверной информации о работе макросов Unifloc 7.9 VBA является изучение непосредственно расчётного кода в редакторе VBE.

https://github.com/khabibullinra/unifloc_vba

Хабибуллин Ринат (khabibullin.ra@gubkin.ru)

Глава 1. Макросы VBA для проведения расчётов

Расчёты Unifloc 7.9 VBA выполняются с использованием макросов, написанных на языке программирования Visual Basic for Application (VBA), встроенном в Excel [[wikipedia VBA](#)].

Макросы Unifloc 7.9 VBA могут быть использованы различными способами. В самом простом варианте для использования Unifloc 7.9 VBA не требуется программировать, достаточно уметь вызывать необходимые функции из рабочей книги Excel, создавая расчетные модули. В более сложном и мощном варианте использования на основе функций Unifloc 7.9 VBA можно создавать свои макросы, которые могут быть вызваны, например, по нажатию кнопки. Это упрощает проведение больших и массовых расчетов, но требует базовых навыков программирования. Самый продвинутый вариант подразумевает создание собственных программ на основе объектной модели Unifloc 7.9 VBA.

Исходный код расчётных модулей находится в отдельном файле - надстройке Excel - файле с расширением.xlam. Для использования макросов данная надстройка должна быть запущена в программе Excel при проведении расчетов. Ее можно каждый раз запускать вручную или установить для автоматического запуска при старте Excel. Подробное описание процедуры установки надстройки можно найти на сайте Microsoft по ключевым словам "[добавление и удаление надстроек в Excel](#)".

1.1 Работа с VBA

1.2 Установка надстройки для автоматического запуска

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.

1.3 Ручной запуск надстройки

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 с расширением.xlam в проводнике. При этом Excel откроется, но никаких документов в нем не появится, а сама надстройка будет загружена и готова к использованию. Следует обратить внимание, что при таком варианте работы с надстройкой при открытии файла использующего макросы Unifloc 7.9 VBA сохраненных на другом компьютере может возникать сообщение, 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.

1.4 Редактор VBE

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

- Запустить Excel запустив 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 – Обзорер проекта>. Макросы располагаются в ветках «модули» и «модули классов»

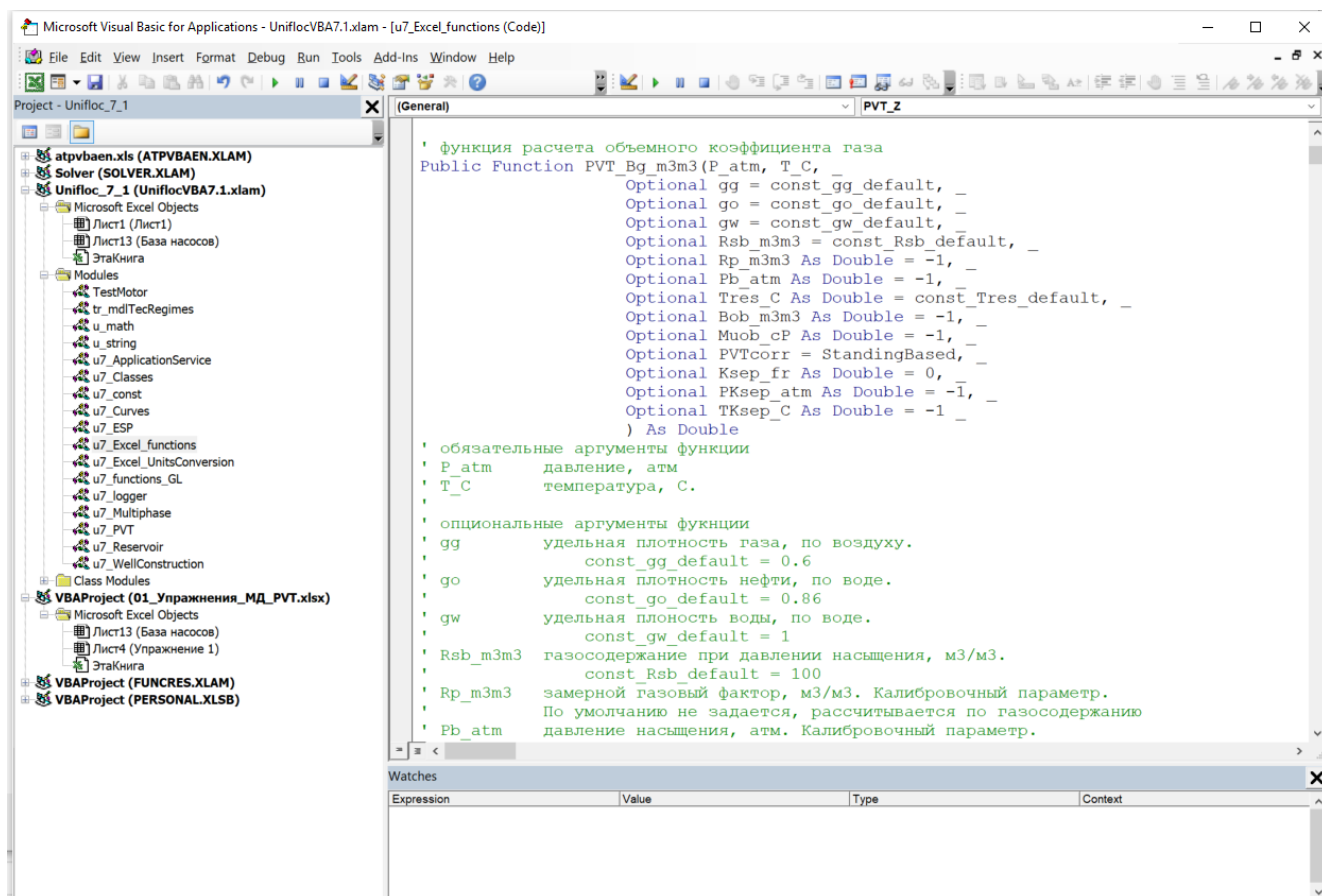


Рис. 1.1 — Окно редактора VBE

1.5 Особенности VBA и соглашения Unifloc 7.9 VBA

Строки, начинающиеся со знака ‘ являются комментариями. В VBE они выделяются зелёным цветом. На исполнение макросов 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`.

При создании макросов в основном использовались международные обозначения переменных, принятые в монографиях общества инженеров нефтяников SPE. Список наиболее употребимых обозначений приведен в приложении.

При создании макросов для обозначения переменных разработчики старались придерживаться следующих соглашений (не всегда успешно впрочем)

- название переменной или функции отражает физический смысл
- лучше длинное и понятное название, чем короткое и непонятное, разделители слов в названиях - знаки подчеркивания (там, где это возможно)
- для расчетных функций название может содержать (последовательно) - префикс, указывающий группу функций, расчетное значение, ключевые параметры, на основе которых проводится расчет, размерность результата
- для минимизации путаницы с размерностями физических величин все размерные переменные в названии содержат явное указание размерности

Глава 2. Модель ”пласт - скважина - скважинное оборудование” и пользовательские функции Unifloc 7.9 VBA

Набор функций Unifloc 7.9 VBA описывает математическую модель системы нефтедобычи, часто обозначаемой как модель ”пласт - скважина - скважинное оборудование”. Модель состоит из набора элементов - алгоритмов, описывающих ключевые физические процессы в системе нефтедобычи, существенно влияющие на результаты расчетов и на решения, которые могут быть приняты на основе расчетов.

К основным элементам системы можно отнести следующие модели:

- модель физико-химических свойств пластовых флюидов
- модель многофазного потока в трубопроводе, элементах инфраструктуры, скважинном оборудовании
- модель многофазного потока в стволе скважины
- модель работы УЭЦН
- модель работы скважины как системы ”пласт - скважина - скважинное оборудование”

Ключевым параметром модели нефтедобычи является распределение давления и температуры в системе.

Модель нефтедобычи напрямую отражается в объектной модели Unifloc 7.9 VBA и в наборе пользовательских функций. Пользовательскими функциями называются функции VBA которые могут быть напрямую использованы из рабочих книг Excel.

В этом разделе модель нефтедобычи и ее элементы описаны как набор пользовательских функций, позволяющих провести расчеты из рабочей книги. Более полный набор пользовательских функций и их описание можно найти в коде надстройки или в приложении ”Автоматически сгенерированное описание”

2.1 Физико-химические свойства 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. Эта особенность может замедлить расчёты с использованием пользовательских функций Excel по сравнению с функциями объектной модели Unifloc 7.9 VBA.

2.1.1 Обозначения PVT параметров

Типовой набор PVT параметров приведён ниже:

- γ_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/см³, 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`
- γ_o - gamma_oil - удельная плотность нефти, по воде. Стандартное обозначение переменной gamma_oil. Безразмерная величина, но по значению совпадает с плотностью в г/см³. По умолчанию задаётся значение `const_go_default = 0.86`
- γ_w - gamma_wat- удельная плотность воды, по воде. Стандартное обозначение переменной gamma_wat. Безразмерная величина, но по значению совпадает с плотность в г/см³. 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 зна-

чение 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.
- μ_{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), 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 °C соответствующая 60 °F .

В Российском ГОСТ 2939-63 принято, что стандартное давление для газов, жидкостей и твёрдых тел, равное 10.13^5 Па (101325 Па, 1 атм); стандартная температура для газов, равная 20 °C соответствующая 68 °F .

В Unifloc 7.9 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
```

2.1.3 PVT_pb_atma давление насыщения

Функция рассчитывает давление насыщения по известным данным газосодержания при давлении насыщения, γ_g, γ_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 [1]

```
' Расчет давления насыщения
Public Function PVT_pb_atma( _
    ByVal t_C As Double, _
    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 = Standing_based, _
    Optional ByVal ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal pksep_atma = -1, _
    Optional ByVal tksep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
)

' обязательные аргументы функции
' T_C      температура, С.
'
```

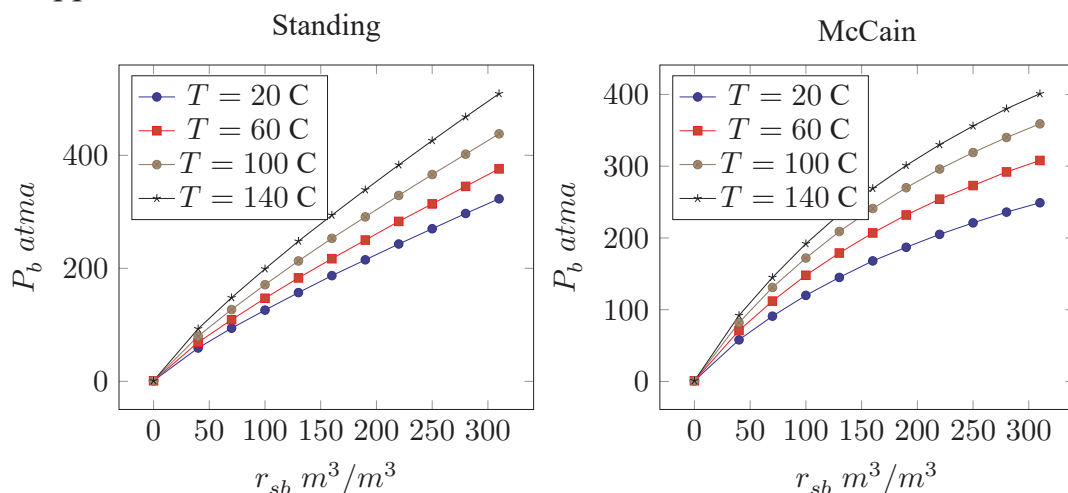
```

' 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
'          Standing_based = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'          McCain_based = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'          straigth_line = 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
'
' результат - 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 7.9 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.

Обратите внимание, что для функции `PVT_pb_atma` набор аргументов отличается от набора для всех остальных функций `PVT`. Для расчета давления насыщения нет необходимости задавать давление при котором будет проведен расчет, так как давление является результатом расчета.

2.1.4 PVT_rs_m3m3 – газосодержание

Газосодержание это отношения объёма газа растворенного в нефти приведённого к стандартным условиям к объёму дегазированной нефти приведённой 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 при изменении давления и температуры 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 7.9 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 добываемый 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 7.9 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. При этом в скважину поступает частично дегазированная нефть. Такие условия возникают редко, требуют определенного набора параметров, 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 7.9 VBA.

При этом значение газового фактора технически легче измерить чем газосодержание - поэтому при противоречии значений газового фактора и газосодержания при давлении насыщения приоритет отдается газовому фактору.

```
' расчет газосодержания
Public Function PVT_rs_m3m3( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    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 = Standing_based, _
    Optional ByVal ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal pksep_atma = -1, _
    Optional ByVal tksep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
)

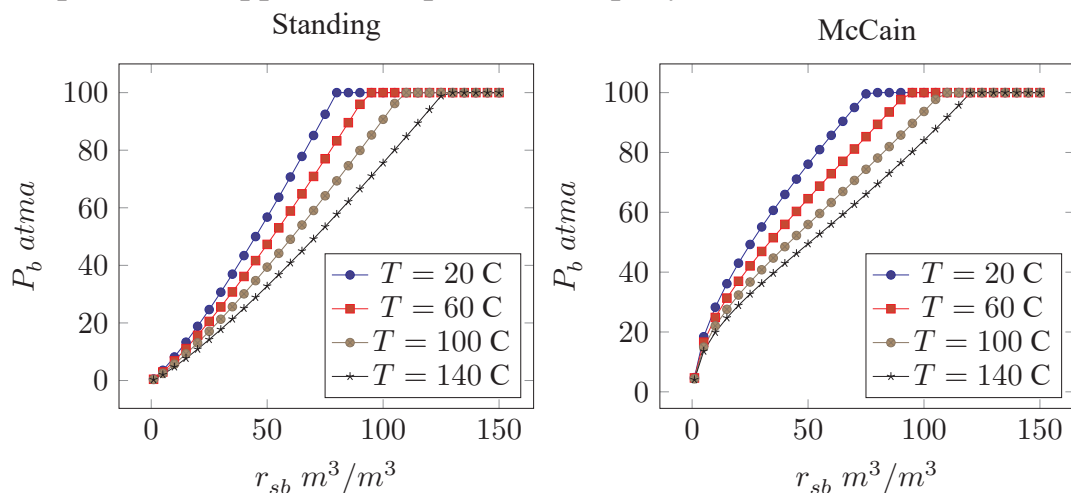
' обязательные аргументы функции
' p_atma    давление, атм
' T_C      температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas удельная плотность газа, по воздуху.
'           const_gg_ = 0.6
' gamma_oil удельная плотность нефти, по воде.
'           const_go_ = 0.86
' gamma_wat удельная плотность 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
'             Standing_based = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'             McCain_based = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'             straigth_line = 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
'
' результат - 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_bo_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( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    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 = Standing_based, _
    Optional ByVal ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal pksep_atma = -1, _
    Optional ByVal tksep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
)

' обязательные аргументы функции
' p_atma    давление, атм
' T_C      температура, C.
'
```

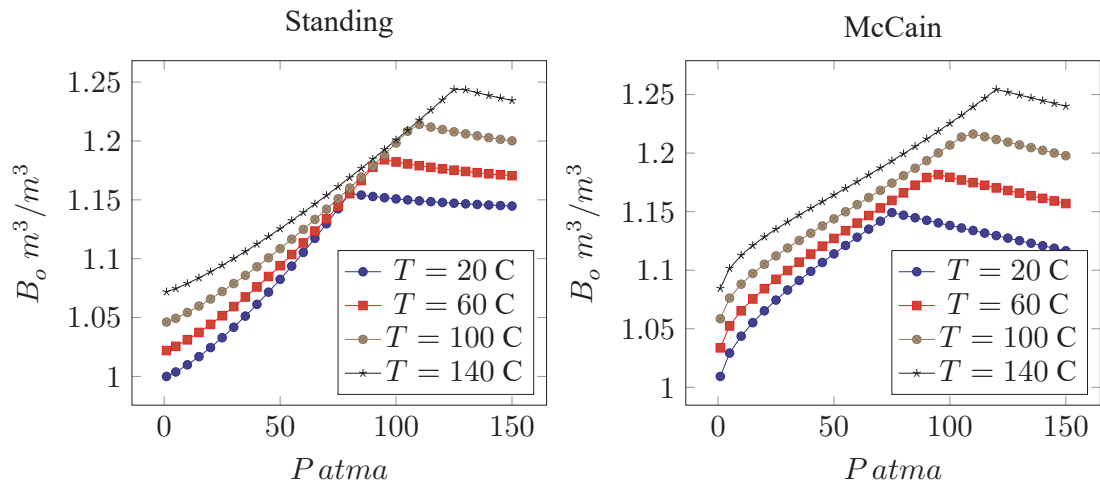
```

' 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, 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
'         Standing_based = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'         McCain_based = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'         straigth_line = 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
'
' результат - 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 приведены на рисунках 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( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    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 = Standing_based, _
    Optional ByVal ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal pksep_atma = -1, _
    Optional ByVal tksep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
)

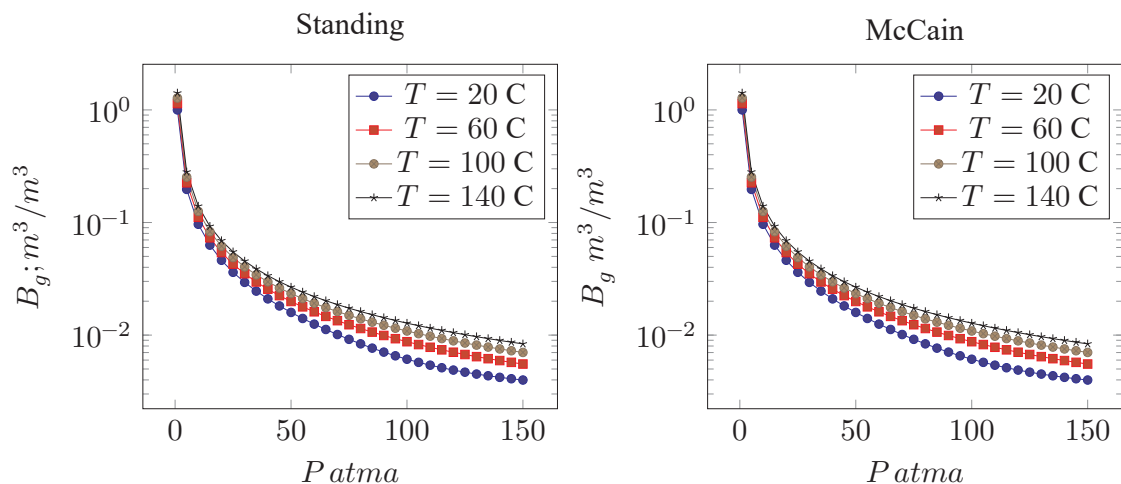
' обязательные аргументы функции
' p_atma      давление, атм
' T_C        температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas  удельная плотность газа, по воздуху.
'             const_gg_ = 0.6
' gamma_oil  удельная плотность нефти, по воде.
'             const_go_ = 0.86
' gamma_wat  удельная 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
'
'               Standing_based = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'               McCain_based   = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'               straigth_line = 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( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    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 = Standing_based, _
    Optional ByVal ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal pksep_atma = -1, _
    Optional ByVal tksep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
)

' 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
'              Standing_based = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'              McCain_based = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'              straigth_line = 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
'
' результат - число
' Возвращает значение объемного коэффициента воды, м3/м3
' для заданных термобарических условий.

```

2.1.8 PVT_muob_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 μ_{ob_cP} . При калибровке динамика изменения будет соответствовать расчету по корреляции, но значения будут масштабированы таким образом, чтобы при давлении насыщения удовлетворять 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 [1]. 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, atma	8.96...483.
температура, °C	37...127
газосодержание, $r_s \text{ m}^3/\text{m}^3$	3.6...254
относительная плотность нефти по воде, γ_o	0.725...0.956

```
' расчет вязкости нефти
Public Function PVT_mu_oil_cP( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    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 = Standing_based, _
    Optional ByVal ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal pksep_atma = -1, _
    Optional ByVal tksep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
)

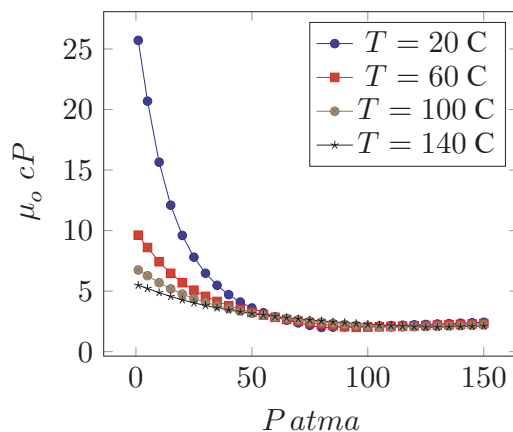
' обязательные аргументы функции
' p_atma      давление, атм
' T_C        температура, C.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas  удельная плотность газа, по воздуху.
'             const_gg_ = 0.6
' gamma_oil  удельная плотность нефти, по воде.
'             const_go_ = 0.86
' gamma_wat  удельная 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.
```

```

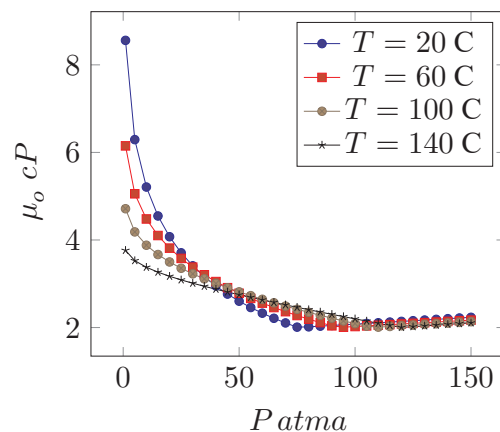
'      имеет приоритет перед rsb если Rp < rsb
' pb_atma  Давление насыщения при температуре tres_C, атма.
'          Опциональный калибровочный параметр,
'          если не задан или = 0 то рассчитывается по корреляции
' tres_C   пластовая температура, C.
'          Учитывается при расчете давления 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
'          Standing_based = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'          McCain_based = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'          straigth_line = 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
'
' результат - число - вязкость нефти
'             при заданных термобарических условиях, cП

```

Standing



McCain



2.1.9 PVT_mug_cP – вязкость газа

Функция рассчитывает вязкость газа при заданных термобарических условиях. Результат расчета в сП. Используется подход предложенный Lee [2], 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

```
' расчет вязкости газа
Public Function PVT_mu_gas_cP( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    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 = Standing_based, _
    Optional ByVal ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal pksep_atma = -1, _
    Optional ByVal tksep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
)

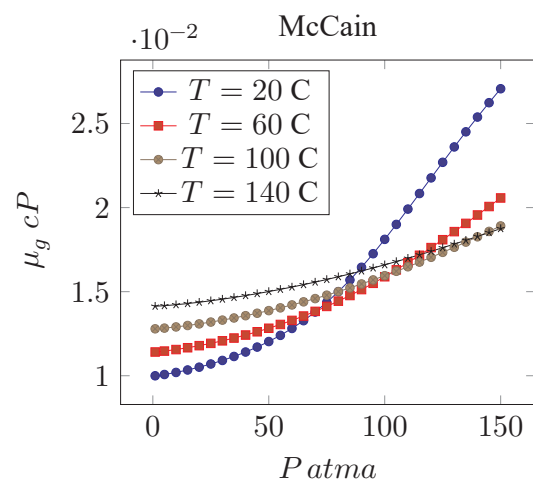
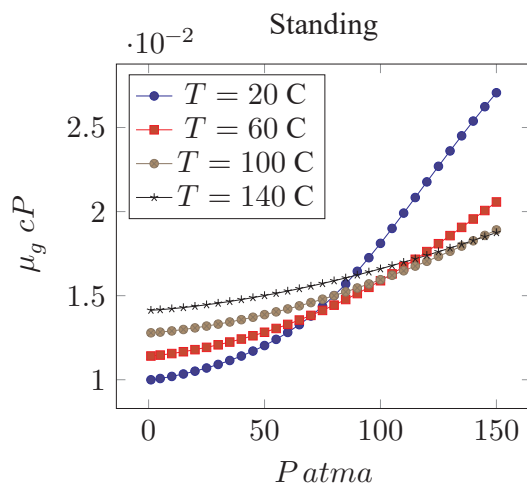
' обязательные аргументы функции
' p_atma      давление, атм
' T_C        температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas  удельная плотность газа, по воздуху.
'             const_gg_ = 0.6
' gamma_oil  удельная плотность нефти, по воде.
'             const_go_ = 0.86
' gamma_wat  удельная 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
'             Standing_based = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'             McCain_based = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'             straigth_line = 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
'
' результат - 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 солености. Растворение газа почти не влияет на вязкость воды и в расчетах не учитывается. Расчет проводится по корреляции McCain [3]

Более подробное описание методов расчета вязкости газа можно найти на странице http://petrowiki.org/Produced_water_properties

```
' расчет вязкости воды
Public Function PVT_mu_wat_cP( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    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 = Standing_based, _
    Optional ByVal ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal pksep_atma = -1, _
    Optional ByVal tksep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
)

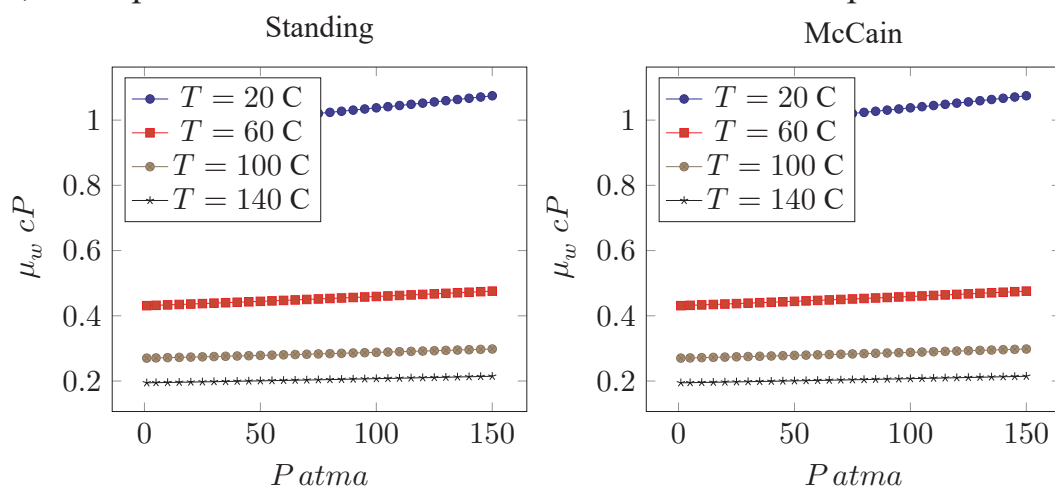
' обязательные аргументы функции
' p_atma    давление, атм
' T_C      температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas удельная плотность газа, по воздуху.
'           const_gg_ = 0.6
' gamma_oil удельная плотность нефти, по воде.
'           const_go_ = 0.86
' gamma_wat удельная плотность 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
'           Standing_based = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'           McCain_based = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'           straigth_line = 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
'
'  результат - 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_rho_oil_kgm3 – плотность нефти

Функция вычисляет значение плотности нефти при заданных термобарических условиях. Результат расчета имеет размерность кг/м³.

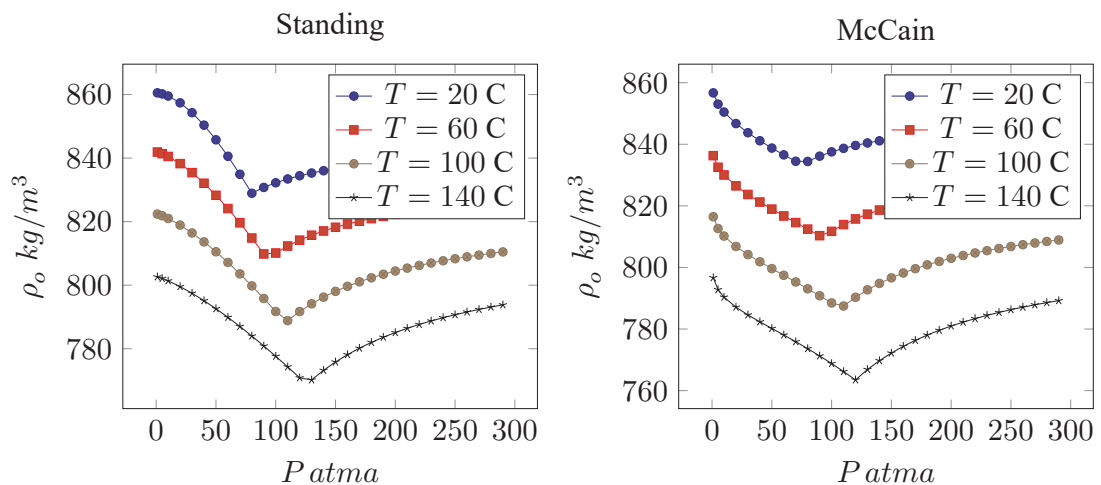
```
' расчет плотности нефти
Public Function PVT_rho_oil_kgm3( _
    ByVal p_atm As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg_, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go_, _
    Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw_, _
    Optional ByVal rsb_m3m3 = const_rsb_default, _
    Optional ByVal rp_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal pb_atm = -1, _
    Optional ByVal tres_C = const_tres_default, _
    Optional ByVal bob_m3m3 = -1, _
    Optional ByVal muob_cP = -1, _
    Optional ByVal PVTcorr = Standing_based, _
    Optional ByVal ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal pksep_atm = -1, _
    Optional ByVal tksep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
)

' обязательные аргументы функции
' p_atm      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_atm    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
'              Standing_based = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'              McCain_based = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'              straigth_line = 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
'
' результат - 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( _
    ByVal p_atma As Double, _

```

```

ByVal t_C As Double, _
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 = Standing_based, _
Optional ByVal ksep_fr = 0, _
Optional ByVal pksep_atma = -1, _
Optional ByVal tksep_C = -1, _
Optional ByVal PVTstr As String = "" _
)

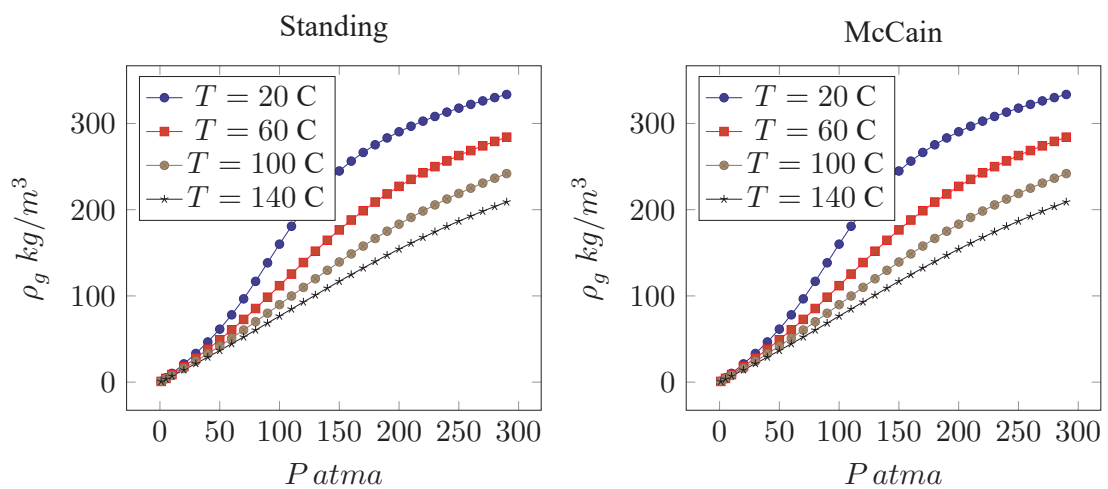
' обязательные аргументы функции
' p_atma      давление, атм
' T_C        температура, С.
'
' опциональные аргументы функции
' gamma_gas  удельная плотность газа, по воздуху.
'             const_gg_ = 0.6
' gamma_oil  удельная плотность нефти, по воде.
'             const_go_ = 0.86
' gamma_wat  удельная 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
'             Standing_based = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'             McCain_based = 1 - на основе кор-ии Маккейна

```

```

'          straigth_line = 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
'
' результат - 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( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    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, _

```

```

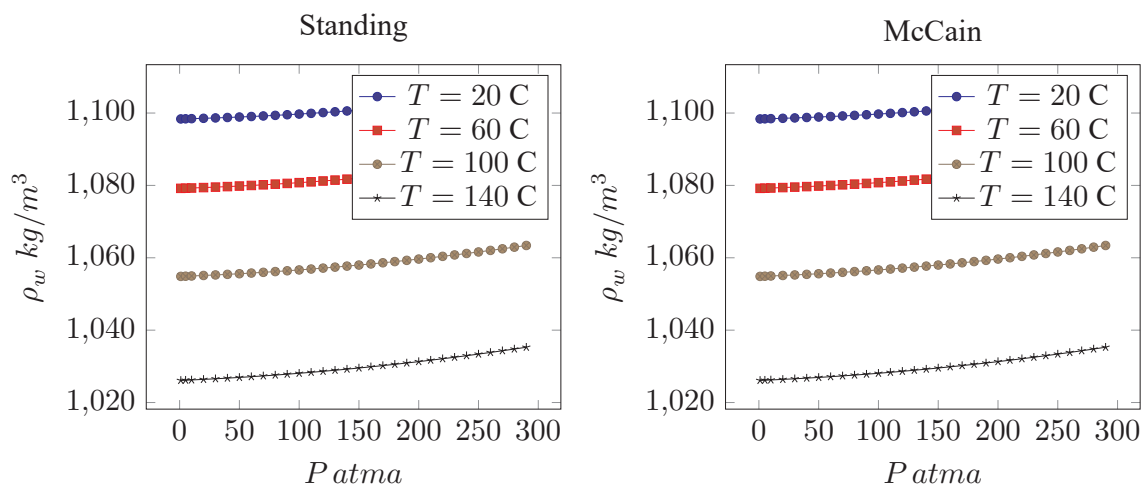
Optional ByVal muob_cP = -1, _
Optional ByVal PVTcorr = Standing_based, _
Optional ByVal ksep_fr = 0, _
Optional ByVal pksep_atma = -1, _
Optional ByVal tksep_C = -1, _
Optional ByVal PVTstr As String = "" _
)

' 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
'             Standing_based = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'             McCain_based = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'             straigth_line = 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

```



```
'
' результат - число - плотность воды
'                при заданных термобарических условиях, кг/м3.
```



2.1.14 PVT_Z – коэффициент сверхсжимаемости газа

Функция позволяет рассчитать коэффициент сверхсжимаемости газа.

$$PV = z\nu RT$$

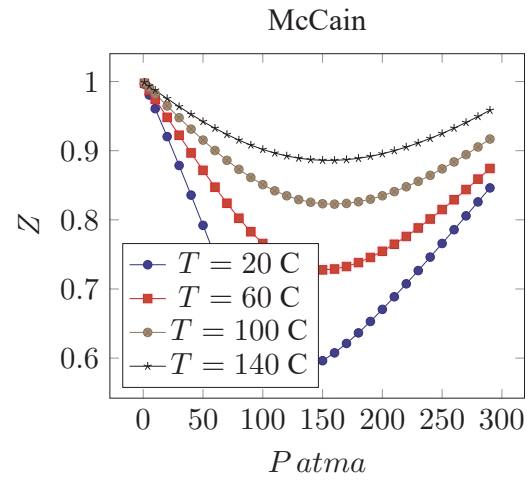
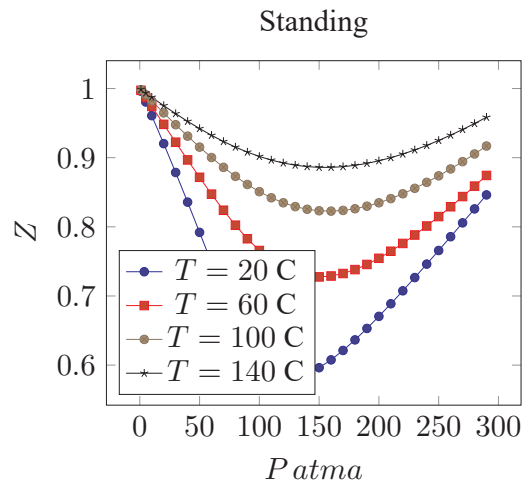
```
' расчет коэффициента сверхсжимаемости газа
Public Function PVT_z( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go, _
    Optional ByVal gamma_wat As Double = const_gw, _
    Optional 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 = Standing_based, _
    Optional ByVal ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal pksep_atma = -1, _
    Optional ByVal tksep_C = -1, _
```

```

        Optional ByVal PVTstr As String = "" _
    )

' 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
'              Standing_based = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'              McCain_based = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'              straigth_line = 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
'
' результат - 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_q_mix_rc_m3day( _
    ByVal qliq_sm3day As Double, _
    ByVal fw_perc As Double, _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "")
' обязательные аргументы функции
' qliq_sm3day- дебит жидкости на поверхности
' fw_perc      - объемная обводненность
' p_atma       - давление, атм
' t_C          - температура, С.
' опциональные аргументы функции
' PVTstr       - закодированная строка с параметрами PVT.
'              - если задана - перекрывает другие значения
' результат    - число - плотность ГЖС, кг/м3.
```

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_sm3day As Double, _
    ByVal fw_perc As Double, _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "")
' обязательные аргументы функции
' qliq_sm3day- дебит жидкости на поверхности
' fw_perc      - объемная обводненность
' p_atma       - давление, атм
' T_C          - температура, С.
' опциональные аргументы функции
' PVTstr       - закодированная строка с параметрами PVT.
'              - если задана - перекрывает другие значения
' результат    - число - плотность ГЖС, кг/м3.

```

2.2.3 MF_gas_fraction_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_gas_fraction_d( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    Optional ByVal fw_perc = 0, _
    Optional ByVal PVTstr As String = PVT_DEFAULT _
    )
' обязательные аргументы функции
' p_atma      - давление, атм
' T_C         - температура, С.
' опциональные аргументы функции
' fw_perc     - обводненность объемная
' PVTstr      - закодированная строка с параметрами PVT.
'              - если задана - перекрывает другие значения

```

```
' результат - число - доля газа в потоке
'
' (расходная без проскальзывания)
```

2.2.4 MF_p_gas_fraction_atma – целевое давления для заданной доли газа в потоке

Функция расчёта давления при котором достигается заданная доля свободного газа в потоке (без учёта проскальзывания) . В отличии от функций PVT учитывается обводнённость. Следует учитывать, что при вызове функции пересчитывается состояние смеси с различными термобарическими условиями.

```
' расчет давления при котором
' достигается заданная доля газа в потоке
Public Function MF_p_gas_fraction_atma( _
    ByVal FreeGas_d As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal fw_perc As Double, _
    Optional ByVal PVTstr As String = PVT_DEFAULT)
' 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
' результат - число - давление, атма.
```

2.2.5 MF_rp_gas_fraction_m3m3 – целевой газовый фактор для заданной доли газа в потоке

Функция расчёта давления при котором достигается заданная доля свободного газа в потоке (без учёта проскальзывания) . В отличии от функций PVT учитывается обводнённость. Следует учитывать, что при вызове функции пересчитывается состояние смеси с различными термобарическими условиями.

```

' расчет газового фактора
' при котором достигается заданная доля газа в потоке
Public Function MF_rp_gas_fraction_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)
' 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
' результат  - 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_ksep_natural_d – естественная сепарация газа

Функция рассчитывает естественную сепарацию газа на приёме насоса в скважине с использованием корреляции Маркеса [4]. Результат - безразмерная величина в диапазоне от 0 до 1.

```

' расчет натуральной сепарации газа на приеме насоса
Public Function MF_ksep_natural_d( _
    ByVal qliq_sm3day As Double, _
    ByVal fw_perc As Double, _
    ByVal p_intake_atma As Double, _
    Optional ByVal t_intake_C As Double = 50, _
    Optional ByVal d_intake_mm As Double = 90, _
    Optional ByVal d_cas_mm As Double = 120, _
    Optional ByVal PVTstr As String = PVT_DEFAULT)
'-----
' qliq_sm3day    - дебит жидкости в поверхностных условиях
' fw_perc        - обводненность
' p_intake_atma   - давление сепарации
' t_intake_C      - температура сепарации
' d_intake_mm     - диаметр приемной сетки
' d_cas_mm       - диаметр эксплуатационной колонны
' PVTstr         - закодированная строка с параметрами PVT.
'                - если задана - перекрывает другие значения
' результат      - число - естественная сепарация

```

2.3.2 MF_ksep_gasseparator_d – сепарация газа роторным газосепаратором

Функция рассчитывает сепарацию газа с использованием роторного газосепаратора, являющегося обычно частью компоновки УЭЦН. Данный расчет основан на результатах испытания характеристик роторных газосепараторов, выполненных в РГУ нефти и газа имени И.М.Губкина [5].

Следует отметить, что несмотря на хорошее соответствие промысловых исследований и расчетов с использованием корреляции для естественной и искусственной сепарации [5] к результатам стендовых исследований стоит относиться с осторожностью. Основой осторожности могут быть следующие соображения: характеристики различных газосепараторов достаточно сильно отличаются друг от друга - есть удачные конструкции и не очень, при этом результаты стендовых испытаний доступны только для ограниченного набора конструкций, стендовые условия достаточно сильно отличаются от скважинных - ниже давление, другие модельные рабочие жидкости, точно оценить коэффициент сепарации газосе-

паратора в промышленных условиях затруднительно - набор таких данных для сравнения ограничен.

Тем не менее изучение результатов стендовых испытаний полезно при проведении расчетов и развивает инженерную интуицию.

```
' расчет коэффициента сепарации газосепаратора
' по результатам стендовых испытаний РГУ нефти и газа
Public Function MF_ksep_gasseparator_d( _
    ByVal gsep_type_TYPE As Integer, _
    ByVal gas_frac_d As Double, _
    ByVal qliq_sm3day As Double, _
    Optional ByVal freq_Hz As Double = 50) As Double
' MY_SEPFACOR - Вычисление коэффициента сепарации в точке
'   gsep_type_TYPE      - тип сепаратора (номер от 1 до 29)
'   1  - 'GDNK5'
'   2  - 'VGSA (VORTEX) '
'   3  - 'GDNK5A'
'   4  - 'GSA5-1'
'   5  - 'GSA5-3'
'   6  - 'GSA5-4'
'   7  - 'GSAN-5A'
'   8  - 'GSD-5A'
'   9  - 'GSD5'
'  10  - '3MNGB5'
'  11  - '3MNGB5A'
'  12  - '3MNGDB5'
'  13  - '3MNGDB5A'
'  14  - 'MNGSL5A-M'
'  15  - 'MNGSL5A-TM'
'  16  - 'MNGSL5-M'
'  17  - 'MNGSL5-TM'
'  18  - 'MNGSLM 5'
'  19  - 'MNGD 5'
'  20  - 'GSIK 5A'
'  21  - '338DSR'
'  22  - '400GSR'
'  23  - '400GSV'
'  24  - '400GSVHV'
'  25  - '538 GSR'
'  26  - '538 GSVHV'
'  27  - '400FSR(OLD) '
'  28  - '513GRS(OLD) '
'  29  - '675HRS'
```

```
'
'   gas_frac_d           - газосодержание на входе в газосепаратор
'   qliq_sm3day          - дебит жидкости в стандартных условиях
'   freq_Hz              - частота вращения, Гц
```

2.3.3 MF_ksep_total_d – общая 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.

```
' расчет общей сепарации на приеме насоса
Public Function MF_ksep_total_d( _
    ByVal SepNat As Double, _
    ByVal SepGasSep As Double)
' SepNat          - естественная сепарация
' SepGasSep       - искусственная сепарация (газосепаратор)
    MF_ksep_total_d = SepNat + (1 - SepNat) * SepGasSep
End Function
```

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.

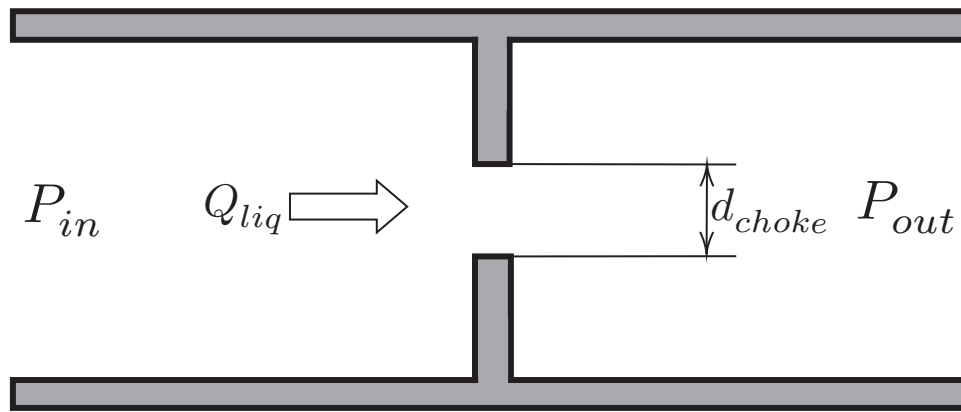


Рис. 2.1 — Схема локального гидравлического сопротивления - штуцера

Как и у любого элемента гидравлического потока есть три ключевых параметра - давление на входе P_{in} , давление на выходе P_{out} и расход газожидкостной смеси, обычно задаваемый в стандартных условиях Q_{liq} . Задание любых двух элементов позволяет вычислить третий. При задании трех элементов модель штуцера может быть настроена на замеры.

2.4.2 MF_p_choke_atma – Расчет давления на входе или 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 [6] с учетом многофазного потока.

```
' расчет давления в штуцере
Public Function MF_p_choke_atma( _
    ByVal qliq_sm3day As Double, _
    ByVal fw_perc As Double, _
    ByVal dchoke_mm As Double, _
    Optional ByVal pcalc_atma As Double = -1, _
    Optional ByVal calc_along_flow As Boolean = True, _
    Optional ByVal d_pipe_mm As Double = 70, _
    Optional ByVal Tchoke_C As Double = 20, _
    Optional ByVal cfChoke As Double = 0, _
    Optional ByVal PVTstr As String = PVT_DEFAULT _
)
```

```

' qliq_sm3day      - дебит жидкости в пов условиях
' fw_perc          - обводненность
' dchoke_mm        - диаметр штуцера (эффективный)
' опциональные аргументы функции
' Pcalc_atma       - давление с которого начинается расчет, атм
'                  граничное значение для проведения расчета
'                  либо давление на входе, либо на выходе
' calc_along_flow  - флаг направления расчета относительно потока
'                  если = True то расчет по потоку
'                  ищется давление на выкиде по известному давлению на входе,
'                  ищется линейное давление по известному буферному
'                  если = False то расчет против потока
'                  ищется давление на входе по известному давлению на выходе,
'                  ищется буферное давление по известному линейному
' d_pipe_mm        - диаметр трубы до и после штуцера
' Tchoke_C         - температура, С.
' cfChoke          - поправочный коэффициент на штуцер
'                  0 - отсутствие поправки
'                  dPchoke_real = (1-cfChoke)*dPchoke_model
' PVTstr           - закодированная строка с параметрами PVT.
'                  если задана - перекрывает другие значения
' результат        - число - давления на штуцере на расчетной стороне.

```

2.4.3 MF_dp_choke_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 [6] с учетом многофазного потока. Функция возвращает перепад давления и температуры в виде массива.

```

' Расчет перепада давления в штуцере (по потоку)
Public Function MF_dp_choke_atm( _
    ByVal qliq_sm3day As Double, _
    ByVal fw_perc As Double, _
    ByVal dchoke_mm As Double, _
    Optional ByVal pcalc_atma As Double = -1, _
    Optional ByVal calc_along_flow As Boolean = True, _
    Optional ByVal d_pipe_mm As Double = 70, _

```

```

Optional ByVal Tchoke_C As Double = 20, _
Optional ByVal cfChoke As Double = 0, _
Optional ByVal PVTstr As String = PVT_DEFAULT _
)
' qliq_sm3day      - дебит жидкости в пов условиях
' fw_perc          - обводненность
' dchoke_mm        - диаметр штуцера (эффективный)
' опциональные аргументы функции
' Pcalc_atma       - давление с которого начинается расчет, атм
'                  - граничное значение для проведения расчета
'                  - либо давление на входе, либо на выходе
' calc_along_flow  - флаг направления расчета относительно потока
'                  - если = True то расчет по потоку
'                  - ищется давление на выкиде по известному давлению на входе,
'                  - ищется линейное давление по известному буферному
'                  - если = False то расчет против потока
'                  - ищется давление на входе по известному давлению на выходе,
'                  - ищется буферное давление по известному линейному
' d_pipe_mm        - диаметр трубы до и после штуцера
' Tchoke_C         - температура, С.
' cfChoke          - поправочный коэффициент на штуцер
'                  - 0 - отсутствие поправки
'                  - dPchoke_real = (1-cfChoke)*dPchoke_model
' PVTstr           - закодированная строка с параметрами PVT.
'                  - если задана - перекрывает другие значения
' результат        - число - давления на штуцере на расчетной стороне.
'                  - двумерный массив с расширенным набором параметров
'                  - и подписей к параметрам

```

2.4.4 MF_qliq_choke_sm3day – функция расчёта дебита жидкости через штуцер

Функция позволяет рассчитать по известному буферному давлению и линейному давлению дебит жидкости. Расчет проводится по корреляции Перкинса [6] с учетом многофазного потока.

```

' функция расчета дебита жидкости через штуцер
' при заданном входном и выходном давлениях
Public Function MF_qliq_choke_sm3day( _
    ByVal fw_perc As Double, _
    ByVal dchoke_mm As Double, _
    ByVal p_in_atma As Double, _
    ByVal p_out_atma As Double, _
    Optional ByVal d_pipe_mm As Double = 70, _
    Optional ByVal Tchoke_C = 20, _
    Optional ByVal cfChoke As Double = 0, _
    Optional ByVal PVTstr As String = PVT_DEFAULT)
' fw_perc      - обводненность
' dchoke_mm    - диаметр штуцера (эффективный)
' p_intake_atma - давление на входе (высокой стороне)
' p_out_atma   - давление на выходе (низкой стороне)
' опциональные аргументы функции
' d_pipe_mm    - диаметр трубы до и после штуцера
' Tchoke_C     - температура, С.
' cfChoke      - поправочный коэффициент на штуцер
'              0 - отсутствие поправки
'              dPchoke_real = (1-cfChoke)*dPchoke_model
' PVTstr       - закодированная строка с параметрами PVT.
'              если задана - перекрывает другие значения

```

2.4.5 MF_cf_choke_fr – функция настройки модели штуцера

Функция позволяет рассчитать корректирующий фактор для модели штуцера, позволяющий согласовать результаты замеров давления и дебита. Расчет проводится по корреляции Перкинса [6] с учетом многофазного потока.

```

' расчет корректирующего фактора модели штуцера под замеры
Public Function MF_cf_choke_fr( _
    ByVal qliq_sm3day As Double, _
    ByVal fw_perc As Double, _
    ByVal dchoke_mm As Double, _
    Optional ByVal p_in_atma As Double = -1, _
    Optional ByVal p_out_atma As Double = -1, _
    Optional ByVal d_pipe_mm As Double = 70, _

```

```

        Optional ByVal Tchoke_C As Double = 20, _
        Optional ByVal PVTstr As String = PVT_DEFAULT _
    )

' qliq_sm3day      - дебит жидкости в пов условиях
' fw_perc          - обводненность
' dchoke_mm        - диаметр штуцера (эффективный)
' опциональные аргументы функции
' p_intake_atma     - давление на входе (высокой стороне)
' p_out_atma        - давление на выходе (низкой стороне)
' d_pipe_mm         - диаметр трубы до и после штуцера
' Tchoke_C          - температура, С.
' PVTstr            - закодированная строка с параметрами PVT.
'                  - если задана - перекрывает другие значения
' результат         - число - давления на штуцере на расчетной стороне.

```

2.5 Расчет многофазного потока в трубе

Для расчета участка трубы с использованием пользовательских функций Унифлок применяется следующая схема - 2.2.

Участок трубы задается как прямой с постоянным наклоном θ длиной L , постоянного диаметра d . Поток движется под углом θ к горизонтальной плоскости. Угол θ меняется от -90 до 90 градусов Цельсия. Отрицательная величина $\theta < 0$ означает, что поток движется вниз - например отрицательным будет угол наклона для нагнетательной скважины. Угол наклона $\theta = 0$ соответствует потоку в горизонтальном участке трубопровода.

Труба имеет постоянную по всей длине шероховатость стенок.

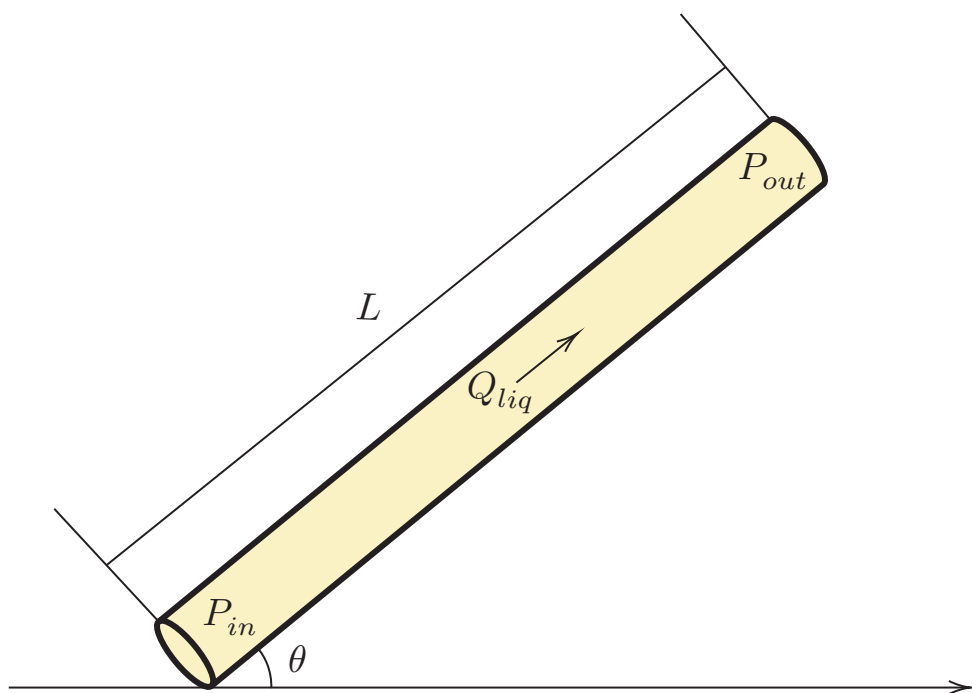


Рис. 2.2 — Схема трубы принятая для расчетов с использованием пользовательских функций

Для расчета распределения давления в трубе необходимо задать граничное значение давления на одном из концов трубы. Возможно два варианта задания условия - по потоку 2.3. и против потока 2.4.

Схема расчета распределения давления по потоку для случая вертикальной добывающей скважины соответствует расчету распределения давления "снизу вверх от забойного давления к устьевому.

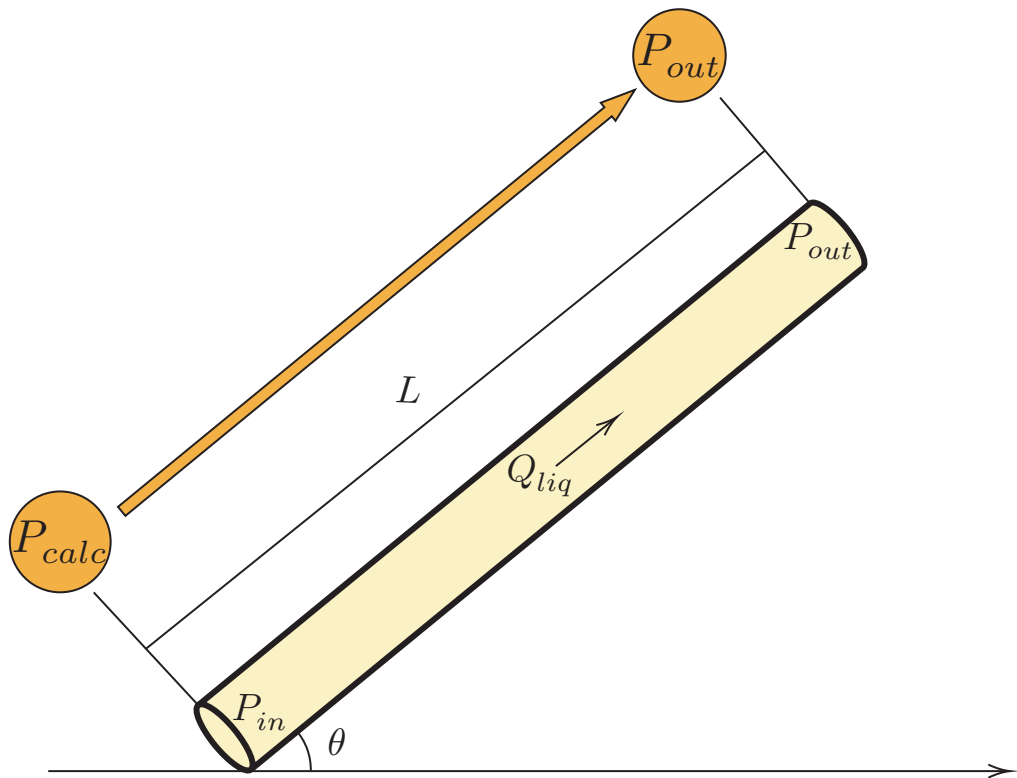


Рис. 2.3 — Схема расчета распределения давления по потоку

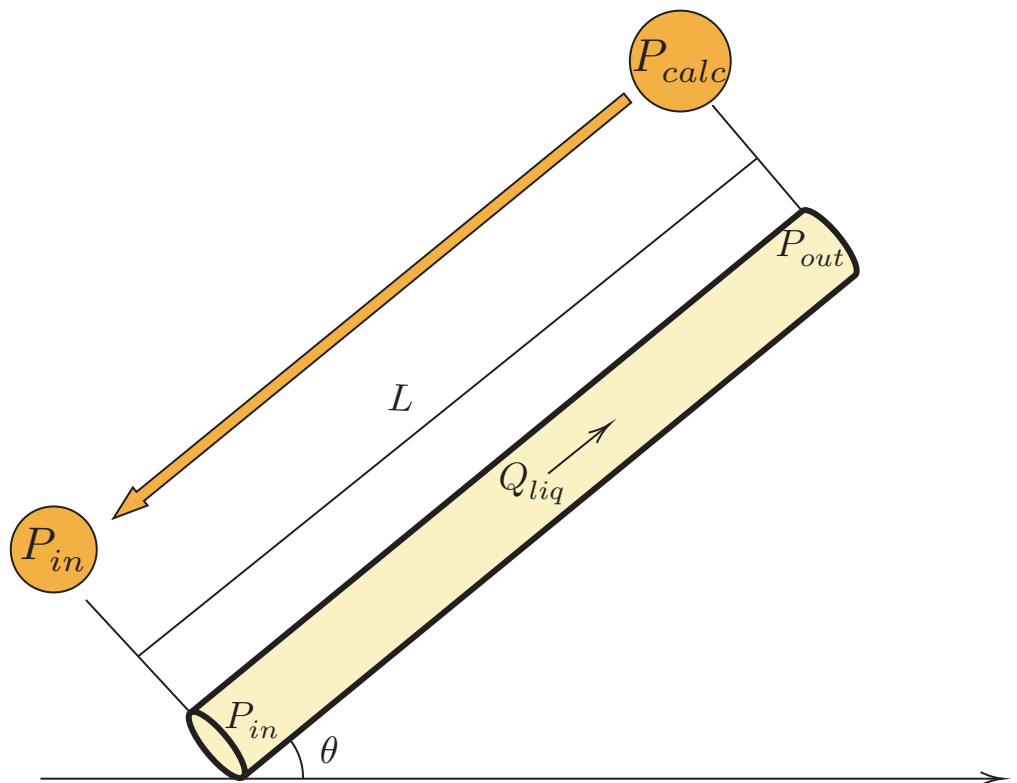


Рис. 2.4 — Схема расчета распределения давления против потока

Схема расчета распределения давления против потока для случая вертикальной добывающей скважины соответствует расчету распределения давления "сверху вниз от устьевого давления к забойному.

2.5.1 MF_dp_pipe_atm – 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_dp_pipe_atm( _
    ByVal qliq_sm3day 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
' qliq_sm3day -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
```

```

'           BeggsBrill = 0
'           Ansari = 1
'           Unified = 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
' результат - число - перепад давления в трубе.

```

Ниже на рисунке приведены результаты расчёта кривой оттока (перепада давления в вертикальной трубе) для различных корреляций, реализованных в Unifloc 7.9 VBA.

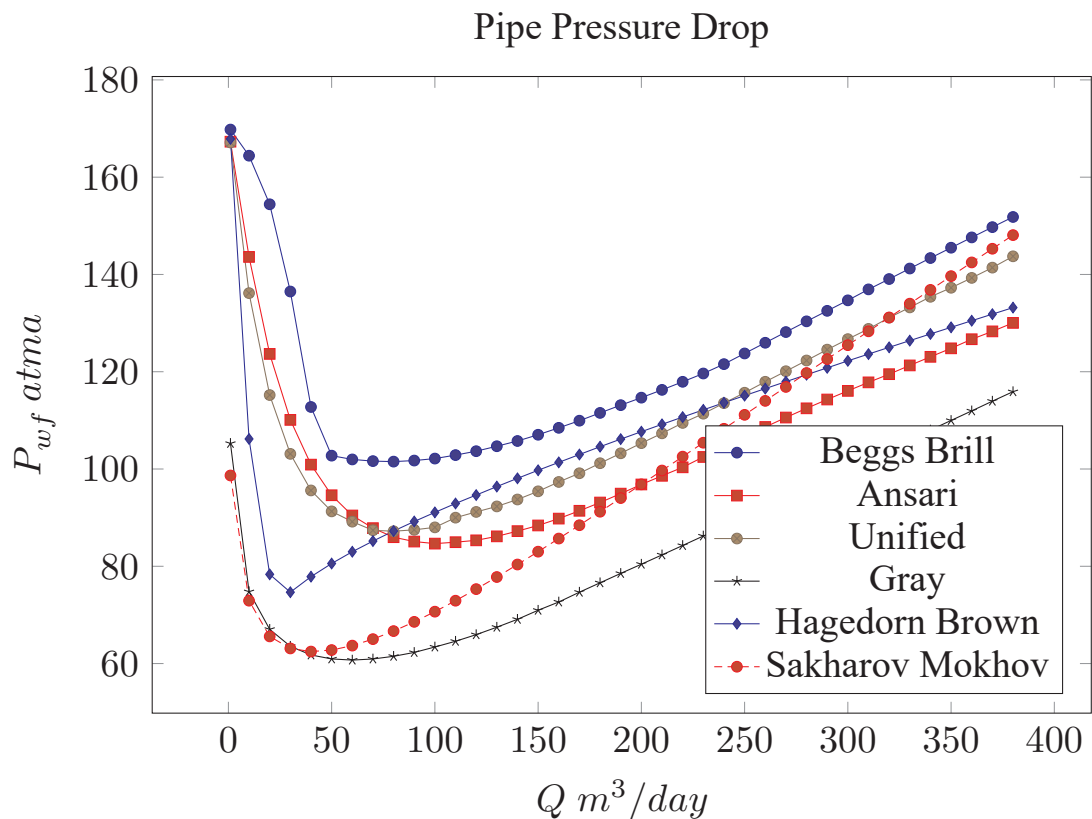


Рис. 2.5 — Кривые характеристики многофазного потока для вертикальных труб рассчитанные с использованием различных корреляций

2.5.2 MF_p_pipe_atma – функция расчета давления на конце трубы

```
' расчет давления и распределения температуры в трубе
' с использованием многофазных корреляций
Public Function MF_p_pipe_atma( _
    ByVal qliq_sm3day 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 Tothet_C As Double = -1, _
    Optional ByVal betta_grav = 1, _
    Optional ByVal betta_fric = 1, _
    Optional ByVal roughness_m As Double = 0.0001)
' Обязательные параметры
' qliq_sm3day - 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
'              BeggsBrill = 0
'              Ansari = 1
'              Unified = 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
' результат  - число - давление на другом конце трубы atma.

```

2.5.3 MF_p_pipe_znlf_atma – функция расчета давления на конце трубы при барботаже

```

' расчет давления и распределения температуры в трубе
' при барботаже (движение газа в затрубе при неподвижной жидкости)
' с использованием многофазных корреляций
Public Function MF_p_pipe_znlf_atma( _
    ByVal qliq_sm3day 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
' qliq_sm3day    - 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
'              BeggsBrill = 0
'              Ansari = 1
'              Unified = 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
' Qgas_free_scm3day - количество газа в затрубе
' результат   - число - давление на другом конце трубы atma.

```

2.5.4 MF_dpdl_atmm – функция расчета градиента давления по многофазной корреляции

```
'расчет градиента давления
'с использованием многофазных корреляций
Public Function MF_dpdl_atmm(ByVal d_m As Double, _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal Ql_rc_m3day As Double, _
    ByVal Qg_rc_m3day As Double, _
    Optional ByVal mu_oil_cP As Double = const_mu_o, _
    Optional ByVal mu_gas_cP As Double = const_mu_g, _
    Optional ByVal sigma_oil_gas_Nm As Double = const_sigma_oil_Nm, _
    Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go, _
    Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg, _
    Optional ByVal eps_m As Double = 0.0001, _
    Optional ByVal theta_deg As Double = 90, _
    Optional ByVal ZNLF As Boolean = False)
' расчет градиента давления по одной из корреляций
' объемные коэффициенты по умолчанию
' заданы равными единицам – если их не трогать,
' значит дебиты в рабочих условиях
' газосодержание равно нулю по умолчанию
' – значит весь газ который указан идет в потоке
' пока только для Ансари – потом можно
' распространить и на другие методы
' d_m – диаметр трубы в которой идет поток
' p_atma – давление в точке расчета
' Ql_rc_m3day – дебит жидкости в рабочих условиях
' Qg_rc_m3day – дебит газа в рабочих условиях
' mu_oil_cP – вязкость нефти в рабочих условиях
' mu_gas_cP – вязкость газа в рабочих условиях
' sigma_oil_gas_Nm – поверхностное натяжение
'             жидкость газ
' gamma_oil – удельная плотность нефти
' gamma_gas – удельная плотность газа
' eps_m      – шероховатость
' theta_deg – угол от горизонтали
' ZNLF      – флаг для расчета барботажа
```

2.6 Расчет многофазного потока в пласте

Для анализа работы скважины и скважинного оборудования в большинстве случаев достаточно простейшего подхода для описания производительности пласта. На текущий момент в Unifloc 7.9 VBA используется линейная индикаторная кривая с поправкой Вогеля для учета разгазирования в призабойной зоне пласта с учетом обводненности [7].

Пользовательские функции для расчета производительности пласта начинаются с префикса `IPR_`.

Для расчета притока из пласта необходимо определить связь между дебитом жидкости Q_{liq} (притоком) и забойным давлением работающей скважины P_{wf} . Линейная индикаторная кривая на основе закона Дарси задает такую связь через коэффициент продуктивности скважины, который определяется как

$$PI = \frac{Q_{liq}}{P_{res} - P_{wf}} \quad (2.1)$$

где P_{res} - пластовое давление - давление на контуре питания скважины. Закон Дарси описывает установившийся приток несжимаемой жидкости в однородном пласте.

Соответственно уравнение притока будет иметь вид

$$Q_{liq} = PI(P_{res} - P_{wf})$$

Для линейного притока по закону Дарси коэффициент продуктивности может быть оценен либо по данным эксплуатации из уравнения 2.1 либо по аналитической зависимости по характеристикам пласта и системы заканчивания. Например для радиального притока к вертикальной скважине широко известна формула Дюпюи согласно которой

$$PI = f \cdot \frac{kh}{\mu B} \frac{1}{\ln \frac{r_e}{r_w} + S} \quad (2.2)$$

здесь f - размерный коэффициент, зависящий от выбранной системы единиц для остальных параметров. Так для системы единиц

При снижении забойного давления добывающей скважины ниже давления насыщения, оценка дебита жидкости по закону Дарси оказывается завышенной.

Таблица 1 — Размерности параметров выражения 2.2

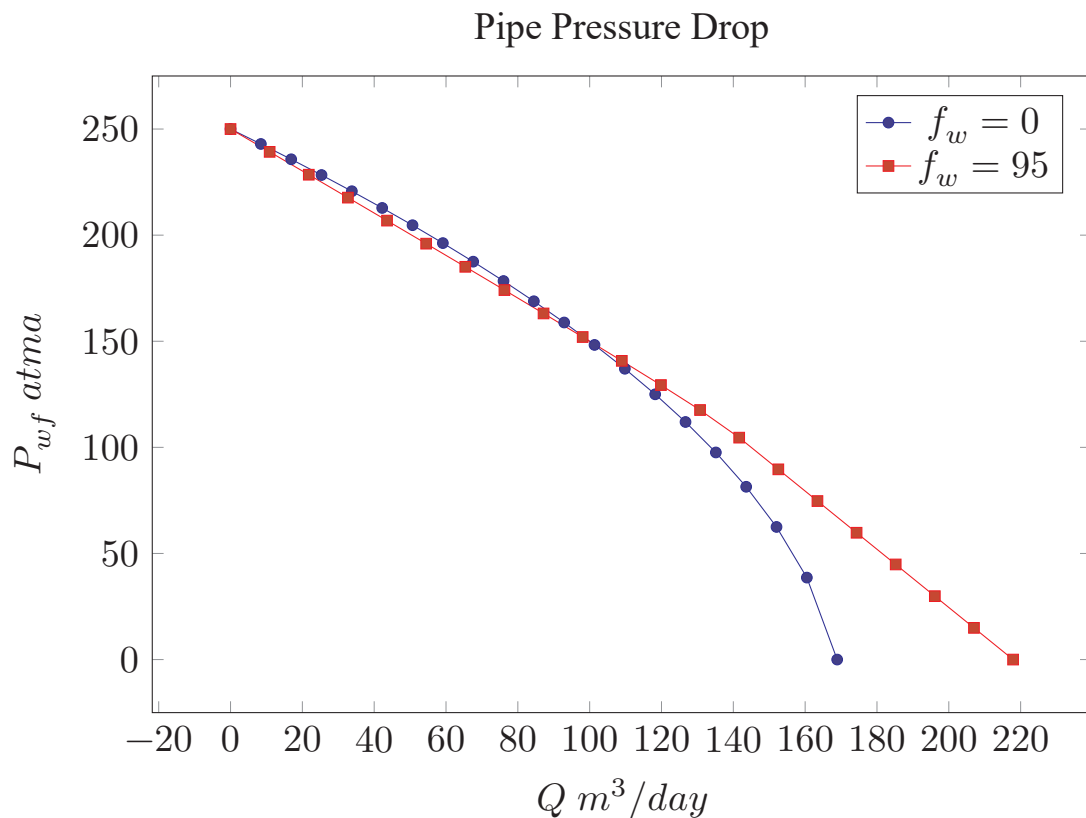
Обозначение	Параметр	СИ	Практические метрические	Американские промысловые
f	размерный коэффициент	2π	$\frac{1}{18.41}$	$\frac{1}{141.2}$
k	проницаемость	м^2	мД	mD
h	мощность пласта	м	м	ft
B	объемный коэффициент	$\text{м}^3/\text{м}^3$	$\text{м}^3/\text{м}^3$	<i>scf/bbl</i>
μ	вязкость	Па · с	сП	cP
r_e	радиус зоны дренирования	м	м	ft
r_w	радиус скважины	м	м	ft
S	скин фактор	безразмерный		

Газ выделяющийся в призабойной зоне пласта создает дополнительное гидравлическое сопротивление. В Unifloc 7.9 VBA поправка на снижение забойного давления ниже давления насыщения реализована на основе поправки Вогеля. Для безводной нефти по Вогелю продуктивность скважины по данным тестовой эксплуатации - дебите жидкости Q_{liq} и соответствующем забойном давлении P_{wf} может быть оценен по выражению 2.3.

$$PI = \frac{Q_{liq}}{P_{res} - P_b + \frac{P_b}{1.8} \left[1.0 - 0.2 \frac{P_{wf}}{P_b} - 0.8 \left(\frac{P_{wf}}{P_b} \right)^2 \right]} \quad (2.3)$$

При наличии обводненности зависимость усложняется.

В Unifloc 7.9 VBA реализована модель определения коэффициента продуктивности по данным эксплуатации. Сравнение индикаторных кривых, построенных по тестовым данным $Q_{liq} = 100$ и $P_{wf} = 150$ при наличии и отсутствии воды, приведено на рисунке.



2.6.1 IPR_pi_sm3dayatm – расчёт продуктивности

Функция позволяет рассчитать коэффициент продуктивности скважины по данным тестовой эксплуатации. Особенность линейной модели притока к скважине с поправкой Волега заключается в минимальном наборе исходных данных, необходимых для построения индикаторной кривой. Достаточно знать пластовое давление, дебит и забойное давление в одной точке.

```
' расчет коэффициента продуктивности пласта
' по данным тестовой эксплуатации
Public Function IPR_pi_sm3dayatm( _
    ByVal Qtest_sm3day As Double, _
    ByVal Pwfctest_atma As Double, _
    ByVal Pres_atma As Double, _
    Optional ByVal fw_perc As Double = 0, _
    Optional ByVal pb_atma As Double = -1)
' Qtest_sm3day    - тестовый дебит скважины
' Pwfctest_atma   - тестовое забойное давление
' Pres_atma       - пластовое давление, атм
```

```
' необязательные параметры
' fw_perc          - обводненность
' pb_atma          - давление насыщения
```

2.6.2 IPR_pwf_atm – расчёт забойного давления по дебиту и продуктивности

Функция позволяет рассчитать забойное давление скважины по известным значениям дебита и продуктивности.

```
' расчет забойного давления по дебиту и продуктивности
Public Function IPR_pwf_atma( _
    ByVal pi_sm3dayatm As Double, _
    ByVal Pres_atma As Double, _
    ByVal qliq_sm3day As Double, _
    Optional ByVal fw_perc As Double = 0, _
    Optional ByVal pb_atma As Double = -1)
' pi_sm3dayatm      - коэффициент продуктивности
' Pres_atma         - пластовое давление, атм
' qliq_sm3day       - дебит жидкости скважины на поверхности
' необязательные параметры
' fw_perc           - обводненность
' pb_atma           - давление насыщения
```

2.6.3 IPR_qliq_sm3day – расчёт дебита по забойному давлению и продуктивности

Функция позволяет рассчитать дебит жидкости скважины на поверхности по забойному давлению и продуктивности.

```
' расчет дебита по давлению и продуктивности
Public Function IPR_qliq_sm3day( _
    ByVal pi_sm3dayatm As Double, _
    ByVal Pres_atma As Double, _
```

```

        ByVal pwf_atma As Double, _
        Optional ByVal fw_perc As Double = 0, _
        Optional ByVal pb_atma As Double = -1)
    '
    ' pi_sm3dayatm    - коэффициент продуктивности
    ' Pres_atma       - пластовое давление, атм
    ' pwf_atma        - забойное давление
    '
    ' необязательные параметры
    ' fw_perc         - обводненность
    ' pb_atma         - давление насыщения

```

2.7 Расчет УЭЦН

Пользовательские функции, связанные с расчетом установок электрических центробежных насосов приведены в модуле «u7_Excel_functions_ESP». Названия функций начинаются с префикса ESP.

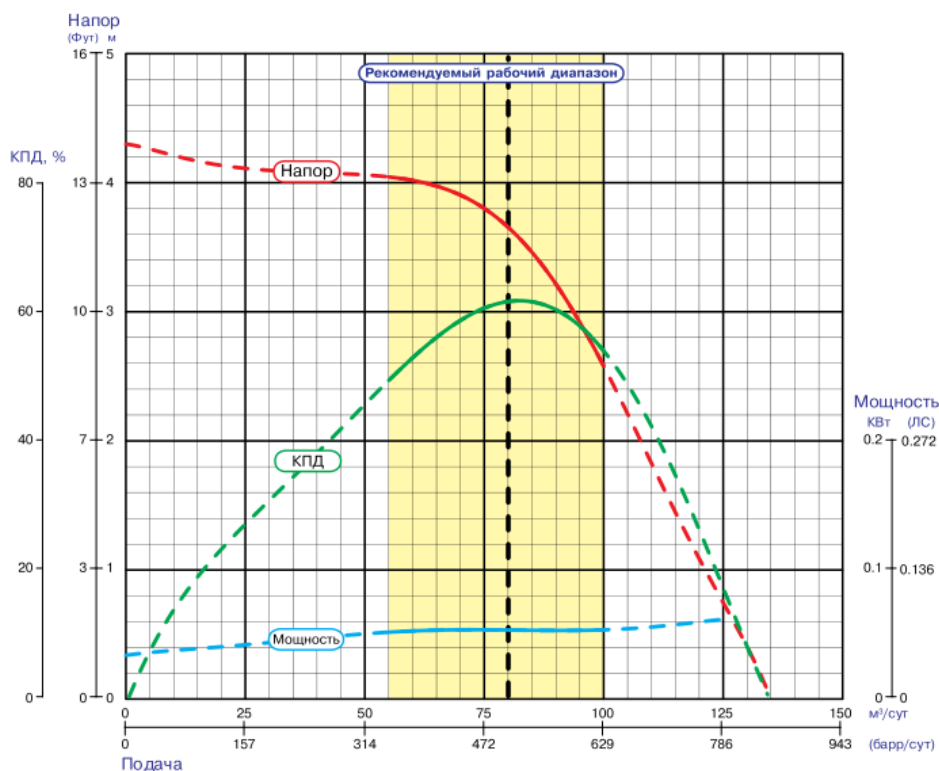
УЭЦН состоит из следующих основных конструктивных элементов:

- ЦН - центробежный насос. Модуль обеспечивающий перекачку жидкости за счет преобразования механической энергии вращения вала в гидравлическую мощность.
- ПЭД - погружной электрический двигатель. Модуль обеспечивающий преобразование электрической энергии, поступающей по кабелю к погружному электрическому двигателю 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 способен отделить часть свободного газа в потоке и направить его в межтрубное пространство скважины. Работает за счет механической энергии вращения вала.
- вал - узел передающий энергию от погружного электрического двигателя (ПЭД) к остальным узлам установки, в том числе к центробежному насосу.
- кабель - узел передающий электрическую энергию с поверхности к погружному электрическому двигателю
- трансформатор - узел обеспечивающий необходимое напряжение на кабеле на поверхности. Как правило на вход трансформатора подается напряжение 380 В, а на выходе оно поднимается до нескольких тысяч вольт.
- СУ - станция управления ЭЦН. Узел управляющий работой системы УЭЦН. Может запускать и останавливать скважины, обеспечивает защиту установки ЭЦН при нежелательных режимах работы
- ЧРП - частотно регулируемый привод. Обычно комплектуется со станцией управления УЭЦН. Обеспечивает изменение частоты колебаний напряжения и тока, а соответственно и частоты вращения вала ЭЦН. Может отсутствовать в компоновке УЭЦН.

В промышленных сводках и отчетах часто ЭЦН обозначаются с использованием значений габарита насоса, номинальной подачи и номинального напора. ЭЦН5А 50 - 2000, означает что, это насос 5А габарита, с номинальной подачей 50 м³/сут и напором 2000 м.

ЭЦН4-80 ХАРАКТЕРИСТИКИ СТУПЕНИ

ЭЦН4-80 (500 барр/сут) 50Гц / 2820 об/мин 338 серия / наружный диаметр 86 мм



Характеристика ступени на воде плотностью 1000 кг/м³. Допустимые производственные отклонения напора в рабочей части характеристики от номинального значения на номинальном режиме от +10% до -5%, мощности +8%.

Рис. 2.6 — Пример каталожных характеристик ЭЦН

УЭЦН, как и другие центробежные машины, обладает относительно узким диапазоном подач при которых достигается достаточно высокий КПД его работы (от 30 до 60%). В связи с этим для различных подач выпускаются различные типы УЭЦН. Всего в промышленности используются сотни различных типов ЭЦН различных производителей. Характеристики различных насосов предоставляются производителями в каталогах оборудования и обычно встраиваются в расчетные программы в виде баз данных характеристик оборудования. В надстройке Unifloc 7.9 VBA содержится база данных характеристик ЭЦН, которая может быть использована при проведении расчетов пользовательскими функциями. База сокращенная, содержит ряд насосов только одного производителя. Как правило

этого достаточно для проведения базовых расчетов, так как характеристики насосов одного типоразмера разных производителей схожи между собой.

Для выбора определенного насоса из базы необходимо использовать его идентификатор в базе - pump_id

Задача расчета УЭЦН обычно сводится к следующим:

- Прямая задача - по заданным значениям 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 обводненность 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 их 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.

2.7.1 ESP_head_m – расчёт номинального напора ЭЦН

Функция позволяет получить паспортные характеристики ЭЦН - напор при определенной подаче.

```
' номинальный напор ЭЦН (на основе каталога ЭЦН)
' учитывается поправка на вязкость
Public Function ESP_head_m( _
    ByVal qliq_m3day As Double, _
    Optional ByVal num_stages As Integer = 1, _
    Optional ByVal freq_Hz As Double = 50, _
```

```

Optional ByVal pump_id = 674, _
Optional ByVal mu_cSt As Double = -1) As Double
' qliq_m3day - дебит жидкости в условиях насоса (стенд)
' num_stages - количество ступеней
' freq_Hz - частота вращения насоса
' pump_id - номер насоса в базе данных
' mu_cSt - вязкость жидкости

```

Расчет выполняется на основе паспортных характеристик ЦН.

2.7.2 ESP_eff_fr – расчёт номинального КПД ЭЦН

Функция позволяет получить паспортные характеристики ЭЦН - КПД при определенной подаче.

```

' номинальный КПД ЭЦН (на основе каталога ЭЦН)
' учитывается поправка на вязкость
Public Function ESP_eff_fr( _
    ByVal qliq_m3day As Double, _
    Optional ByVal num_stages As Integer = 1, _
    Optional ByVal freq_Hz As Double = 50, _
    Optional ByVal pump_id = 674, _
    Optional ByVal mu_cSt As Double = -1) As Double
' qliq_m3day - дебит жидкости в условиях насоса (стенд)
' num_stages - количество ступеней
' freq_Hz - частота вращения насоса
' pump_id - номер насоса в базе данных
' mu_cSt - вязкость жидкости

```

Расчет выполняется на основе паспортных характеристик ЦН.

2.7.3 ESP_power_W – расчёт номинальной мощности потребляемой ЭЦН

Функция позволяет получить паспортные характеристики ЭЦН - мощность, потребляемую с вала при определенной подаче.


```

' номинальная мощность потребляемая ЭЦН с вала (на основе каталога ЭЦН)
' учитывается поправка на вязкость
Public Function ESP_power_W( _
    ByVal qliq_m3day As Double, _
    Optional ByVal num_stages As Integer = 1, _
    Optional ByVal freq_Hz As Double = 50, _
    Optional ByVal pump_id = 674, _
    Optional ByVal mu_cSt As Double = -1) As Double
' мощность УЭЦН номинальная потребляемая
' qliq_m3day - дебит жидкости в условиях насоса (стенд)
' num_stages - количество ступеней
' freq_Hz - частота вращения насоса
' pump_id - номер насоса в базе данных
' mu_cSt - вязкость жидкости

```

Расчет выполняется на основе паспортных характеристик ЦН.

2.7.4 ESP_id_by_rate – выбор типового насоса по номинальному дебиту

Функция возвращает идентификатор типового насоса по заданному номинальному дебиту. Может быть использована для выбора насоса на основе его наименования типа ЭЦН 50 - 2000.

```

' функция возвращает идентификатор типового насоса по значению
' номинального дебита
Public Function ESP_id_by_rate(Q As Double)
' возвращает ID в зависимости от диапазона дебитов
' насосы подобраны вручную из текущей базы
' функция нужна для удобства использования
' непосредственно в Excel для тестовых заданий и учебных примеров
    If Q > 0 And Q < 20 Then ESP_id_by_rate = 738: ' ВНН5-15
    If Q >= 20 And Q < 40 Then ESP_id_by_rate = 740: ' ВНН5-30
    If Q >= 40 And Q < 60 Then ESP_id_by_rate = 1005: ' ВНН5-50
    If Q >= 60 And Q < 100 Then ESP_id_by_rate = 1006: ' ВНН5-80
    If Q >= 100 And Q < 150 Then ESP_id_by_rate = 737: ' ВНН5-125
    If Q >= 150 And Q < 250 Then ESP_id_by_rate = 1010: ' ЭЦН5А-200
    If Q >= 250 And Q < 350 Then ESP_id_by_rate = 1033: ' ЭЦН5А-320Э
    If Q >= 350 And Q < 600 Then ESP_id_by_rate = 753: ' ВНН5А-500
    If Q >= 600 And Q < 800 Then ESP_id_by_rate = 754: ' ВНН5А-700

```

```

If Q >= 800 And Q < 1200 Then ESP_id_by_rate = 755: ' ВНН6-1000
If Q > 1200 Then ESP_id_by_rate = 264
End Function

```

2.7.5 ESP_dp_atm – расчет перепада давления развиваемого ЭЦН

Функция рассчитывает перепад давления, развиваемый ЦН при заданных параметрах флюида и термобарических условиях.

```

' функция расчета перепада давления ЭЦН в рабочих условиях
Public Function ESP_dp_atm( _
    ByVal qliq_sm3day As Double, _
    ByVal fw_perc As Double, _
    ByVal p_atma As Double, _
    Optional ByVal num_stages As Integer = 1, _
    Optional ByVal freq_Hz As Double = 50, _
    Optional ByVal pump_id = 674, _
    Optional ByVal PVTstr As String = PVT_DEFAULT, _
    Optional ByVal t_intake_C As Double = 50, _
    Optional ByVal Tdis_C As Double = 50, _
    Optional ByVal CalcFromIntake As Boolean = 1, _
    Optional ByVal GasDegtType As Integer = 0, _
    Optional ByVal Kdegr As Double = 0)
' qliq_sm3day      - дебит жидкости на поверхности
' fw_perc          - обводненность
' p_atma           - давление для которого делается расчет
'                  - либо давление на приеме насоса
'                  - либо давление на выкиде насоса
'                  - определяется параметром CalcFromIntake
' num_stages       - количество ступеней
' freq_Hz          - частота вращения вала ЭЦН, Гц
' pump_id          - идентификатор насоса
' PVTstr           - набор данных PVT
' t_intake_C       - температура на приеме насоа
' Tdis_C           - температура на выкиде насоса.
'                  - если = 0 и CalcFromIntake = 1 то рассчитывается
' CalcFromIntake   - режим расчета снизу вверх или сверху вниз
'                  - CalcFromIntake = True => p_atma давление на приеме

```

```

'           CalcFromIntake = False => p_atma давление на выкиде
' GasDegtType      - тип насоса по работе с газом
'   GasDegtType = 0 нет коррекции
'   GasDegtType = 1 стандартный ЭЦН (предел 25%)
'   GasDegtType = 2 ЭЦН с газостабилизирующим модулем (предел 50%)
'   GasDegtType = 3 ЭЦН с осевым модулем (предел 75%)
'   GasDegtType = 4 ЭЦН с модифицированным ступенями (предел 40%)
'           предел по доле газа на входе в насос после сепарации
'           на основе статьи SPE 117414 (с корректировкой)
'           поправка дополнительная к деградации (суммируется)
' Kdegr           - коэффициент деградации напора
' результат      - массив значений включающий
'                 перепад давления
'                 перепад температур
'                 мощность потребляемая с вала, Вт
'                 мощность гидравлическая по перекачке жидкости, Вт
'                 КПД ЭЦН

```

2.7.6 ESP_system_calc – расчет параметров работы УЭЦН

Функция рассчитывает полный набор параметров работы УЭЦН при заданных параметрах флюида и термобарических условиях. В отличие от функции ESP_dp_atm учитывает проскальзывание при расчете частоты вращения вала и рассчитываются электрические параметры работы ЭЦН

```

' расчет производительности системы УЭЦН
' считает перепад давления, электрические параметры и деградацию КПД
Public Function ESP_system_calc( _
    ByVal qliq_sm3day As Double, _
    ByVal fw_perc As Double, _
    ByVal p_atma As Double, _
    Optional ByVal PVTstr As String, _
    Optional ByVal ESPstr As String, _
    Optional ByVal CalcFromIntake As Boolean = 1 _
)
' qliq_sm3day      - дебит жидкости на поверхности
' fw_perc          - обводненность
' p_atma           - давление для которого делается расчет

```

```

'                либо давление на приеме насоса
'                либо давление на выкиде насоса
'                определяется параметром CalcFromIntake
' PVTstr          - набор данных PVT
' ESPstr          - набор данных ЭЦН
' CalcFromIntake  - режим расчета снизу вверх или сверху вниз
'                CalcFromIntake = True => p_atma давление на приеме
'                CalcFromIntake = False => p_atma давление на выкиде
' результат      - массив значений включающий
'                перепад давления
'                перепад температур
'                мощность потребляемая с вала, Вт
'                мощность гидравлическая по перекачке жидкости, Вт
'                КПД ЭЦН
'                список неполон

```

2.7.7 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 одноимёнными выводами разных фаз
- Фазный ток I_{phase} – ток в фазах двигателя.
- Линейный ток I_{line} – ток в линейных проводах.
- $\cos \varphi$ - коэффициент мощности, где φ величина сдвига по фазе между напряжением и током

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

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

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

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

Для схемы треугольник

$$U_{AB} = U_A$$

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

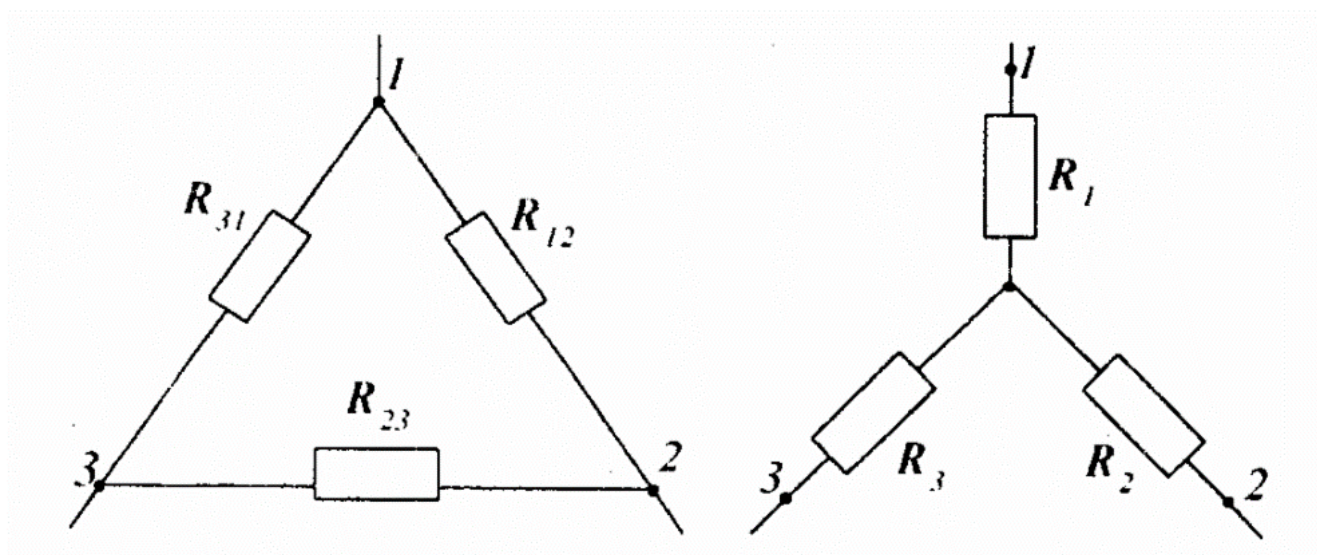


Рис. 2.7 — Пример схем замещения: треугольник и звезда

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 напряжение проще измерить и легче контролировать параметры трехфазного двигателя обычно задаются линейными. 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

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

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 Φ и напряжение подаваемое на статор связаны приближенным соотношением

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

где

Φ - 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 Φ 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;

$X_2 = 2\pi f L_2$ - 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

$$M = \frac{1}{4.44 w_2 k_2 k_T^2 f} \frac{U_1^2 R_2 S}{R_2^2 + (S X_2^2)^2}$$

где

$k_T = \frac{E_1}{E_2} = \frac{w_1 k_1}{w_2 k_2}$ - 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% $M \sim (0.9 U_1)^2 = 0.81 U_1^2$). Это является одним из недостатков асинхронных двигателей.

Электромеханическая модель погружного АПЭД реализована в расчетных функциях Unifloc 7.9 VBA как модель двигателя с номером 0 `motorID = 0`

Функции для расчета характеристик ПЭД начинаются с префикса `motor_`. Описание функций можно найти в приложении "Автоматически сгенерированное описание".

Каталожные характеристики АПЭД

Для асинхронных погружных двигателей производители в каталогах оборудования приводят характеристики, позволяющие оценить КПД, потребляемый ток, частоту вращения вала и коэффициент электрической мощности от загрузки для определенной частоты вращения - рисунок 2.8. Нередко характеристики приводятся для двух частот вращения - 50 Гц и 60 Гц.

Каталожная модель погружного АПЭД реализована в расчетных функциях Unifloc 7.9 VBA как модель двигателя с номером 1 `motorID = 1`

**РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ
УСЛОВНЫЙ ГАБАРИТ 96 ПРИ ЧАСТОТЕ ПИТАЮЩЕЙ СЕТИ 50Гц**

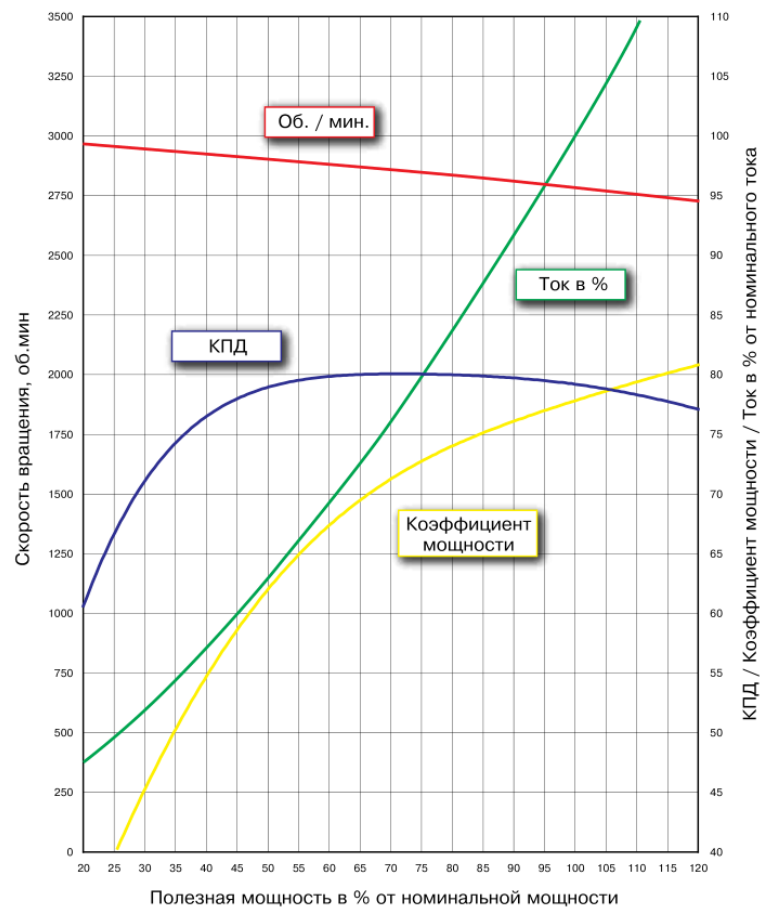


Рис. 2.8 — Каталожные характеристики ПЭД

Функции для расчета характеристик ПЭД начинаются с префикса `motor_`. Описание функций можно найти в приложении ”Автоматически сгенерированное описание”.

2.8 Технологический режим добывающих скважин

Одна из первых реализаций расчётных модулей Unifloc 7.9 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.

Функции расчета параметров технологического режима добывающих скважин находятся в модуле «tr_mdITecRegimes»

Для обеспечения обратной совместимости расчётов в Unifloc 7.9 VBA заложены основные функции расчёта из технологического режима работы скважин. У функций изменены названия функций и имена аргументов, однако алгоритмы расчётов оставлены без изменений.

Пользовательские функции для расчета параметров технологического режима работы добывающих скважин начинаются с префикса tr_.

2.8.1 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. [8]

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.

2.8.2 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. Последние значения являются опциональными и могут быть опущены при проведении расчёта.

2.8.3 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.

2.8.4 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.

2.8.5 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 7.9 VBA реализующую аналогичную функциональность с меньшим набором допущений

Результат расчёта - абсолютное значение забойного давления.

2.8.6 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 7.9 VBA реализующую аналогичную функциональность с меньшим набором допущений

Результат расчёта - абсолютное значение забойного давления.

Глава 3. Упражнения по работе с пользовательскими функциями Unifloc 7.9 VBA

Освоить работу с расчетными функциями Unifloc 7.9 VBA можно выполняя упражнения описанные в данном разделе и изучая устройство тестовых расчетных модулей. Упражнения демонстрируют некоторые подходы к использованию Unifloc 7.9 VBA. На основе этих подходов можно создать свои расчетные модули решающие специфические задачи пользователя.

3.1 Расчет PVT свойств

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

Цель упражнений по расчету PVT свойств:

- освоить принципы работы с пользовательскими функций Unifloc 7.9 VBA
- изучить влияние исходных PVT данных на результаты расчета PVT свойств
- изучить влияние выбора PVT корреляций на результаты расчета PVT свойств
- изучить механизм калибровки PVT корреляций на результаты измерений

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

1. Запустите файл с надстройкой Unifloc 7.9 VBA. Для того чтобы убедиться, что надстройка запущена откройте редактор VBE (Alt+F11). В дереве проектов должен отображаться файл надстройки UniflocVBA_7.xlam, рис. 3.1.
2. Откройте файл с упражнением 10.PVT.xlsx (смотри рис. 3.2).
3. Для расчета первого элемента таблицы в ячейках D23:D48 - газосодержания в нефти при давлении 1 атм и температуре 80 °C - введите в ячейку D23 строку

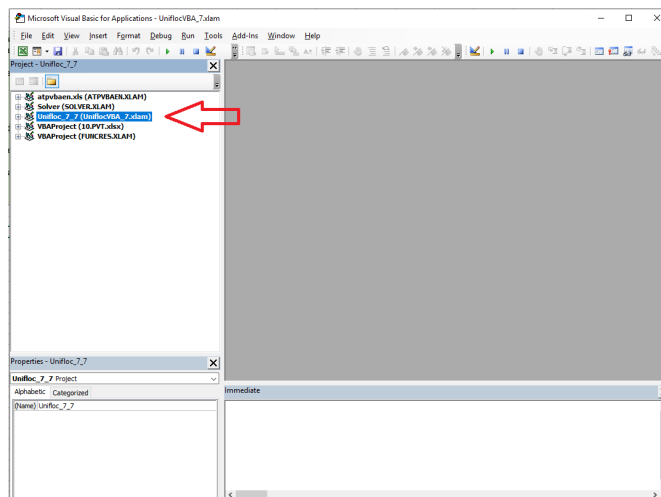


Рис. 3.1 — Окно редактора VBE с загруженной надстройкой Unifloc 7.9 VBA

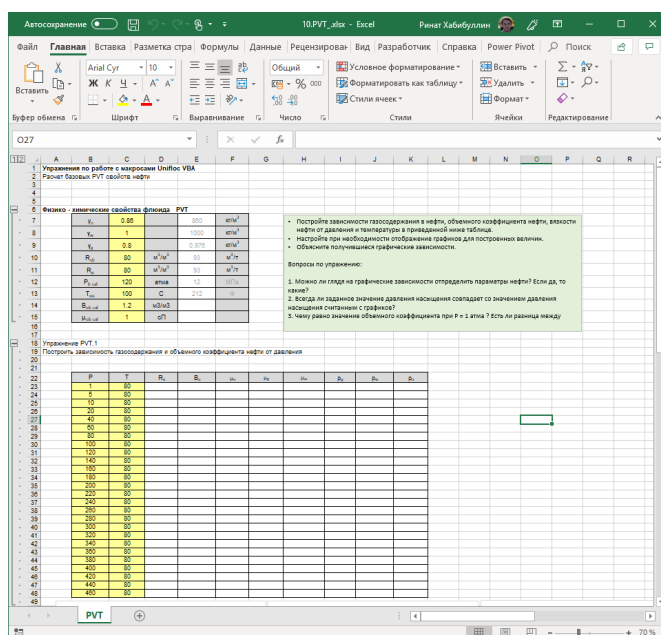


Рис. 3.2 — Открытый файл с упражнением 10.PVT.xlsx

=PVT_Rs_m3m3(B23;C23;gamma_gas_;gamma_oil_; gamma_wat_; Rsb_; Rp_; Pb_; Tres_; Bob_; muob_)

Обратите внимание – при запущенной надстройке достаточно начать вводить в ячейку формулу, например ввести =PVT как Excel откроет выпадающий список с подсказкой, показывающий возможные варианты названий функций (смотри рис. 3.3).

В приведенной строке B23;C23 - ссылки на соответствующие ячейки, gamma_gas_;gamma_oil_ - также ссылки на ячейки, которые предварительно были поименованы.

Из выпадающего списка выберите функцию =PVT_Rs_m3m3 (после чего нажмите кнопку f_x ”вставить функцию”слева от строки формул. Это

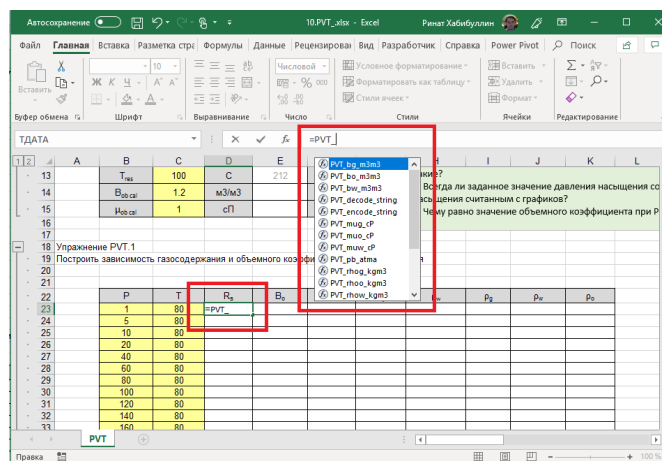


Рис. 3.3 — Выпадающий список с подсказками названий функции

вызовет окно задания параметров функции, в котором будут указаны все параметры, которые необходимо ввести. В этом окне можно ввести необходимые значения параметров или указать ссылки на соответствующие ячейки.

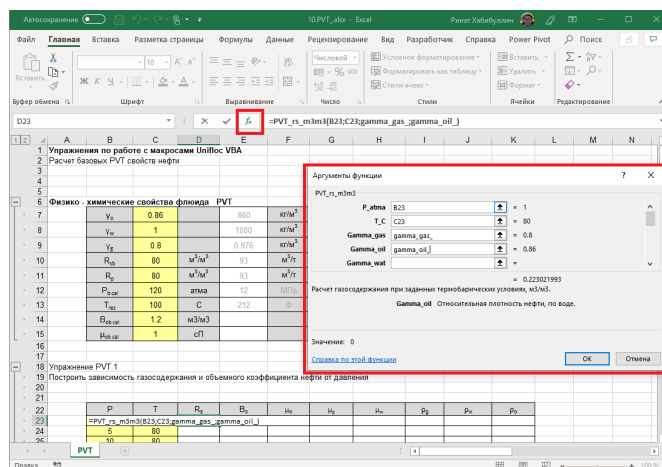


Рис. 3.4 — Окно ввода аргументов функции

4. После ввода всех параметров и нажатия кнопки ОК в ячейке должен отображаться результат расчета. Воспользовавшись инструментом "Влияющие ячейки" на вкладке "Формулы" можно отследить на какие ячейки ссылается введенная формула
5. Аналогично заполните все ячейки таблицы D23 : D48 вызовами функции $=PVT_Rs_m3m3()$ с соответствующими параметрами. Это можно сделать "протянув" ранее введенную функцию в ячейке D23. Обратите внимание, что при "протягивании" поименованные ячейки оказываются закрепленными, а ссылки на значения давления и температуры

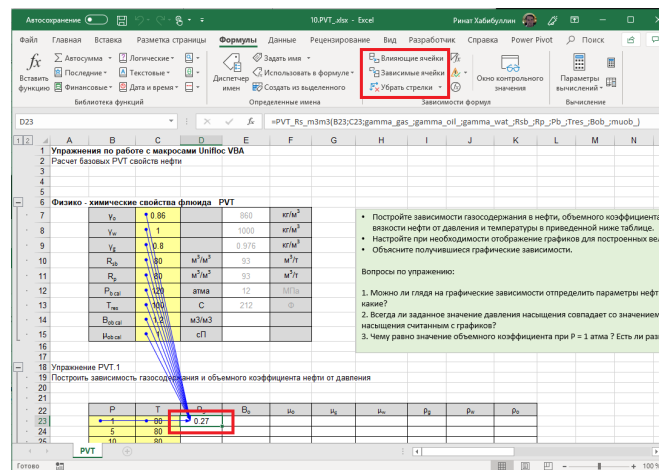


Рис. 3.5 — Результат вызова пользовательской функции с отображение влияющих ячеек

съезжают вместе с протягиваемой ячейкой. Результат показан на рисунке 3.6

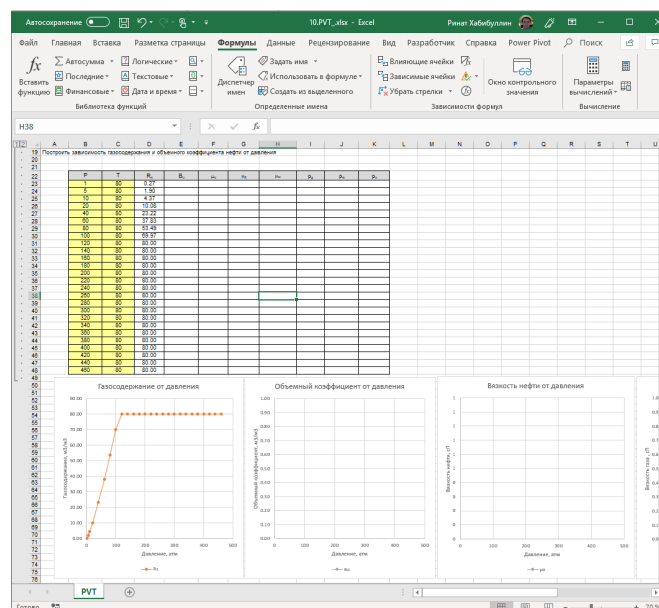


Рис. 3.6 — Результат расчета зависимости газосодержания от давления

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

функция расчета объемного коэффициента нефти

=PVT_Bo_m3m3(B23;C23;gamma_gas;gamma_oil;gamma_wat; Rsb; Rp; Pb;Tres;Bob;muob_)

функция расчета вязкости нефти при заданных термобарических условиях

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

функция расчета вязкости газа при заданных термобарических условиях

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

функция расчета вязкости воды при заданных термобарических условиях

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

функция расчета плотности газа при заданных термобарических условиях

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

функция расчета плотности воды при заданных термобарических условиях

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

функция расчета плотности нефти при заданных термобарических условиях

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

Результаты приведены на рисунке 3.7

7. Ответьте на вопросы по упражнению приведенные в рабочей книге.
 - а) Можно ли глядя на графические зависимости определить параметры нефти? Если да, то какие?
 - б) Всегда ли заданное значение давления насыщения совпадает со значением давления насыщения считанным с графиков?
 - в) Чему равно значение объемного коэффициента при $P = 1$ атма? Есть ли разница между исходным значением и значением определенным по графическими зависимостями?
 - г) Как изменятся построенные зависимости если не вводить значения калибровочных параметров - давления насыщения, объемного коэффициента при давлении насыщения, вязкости при давлении насыщения?

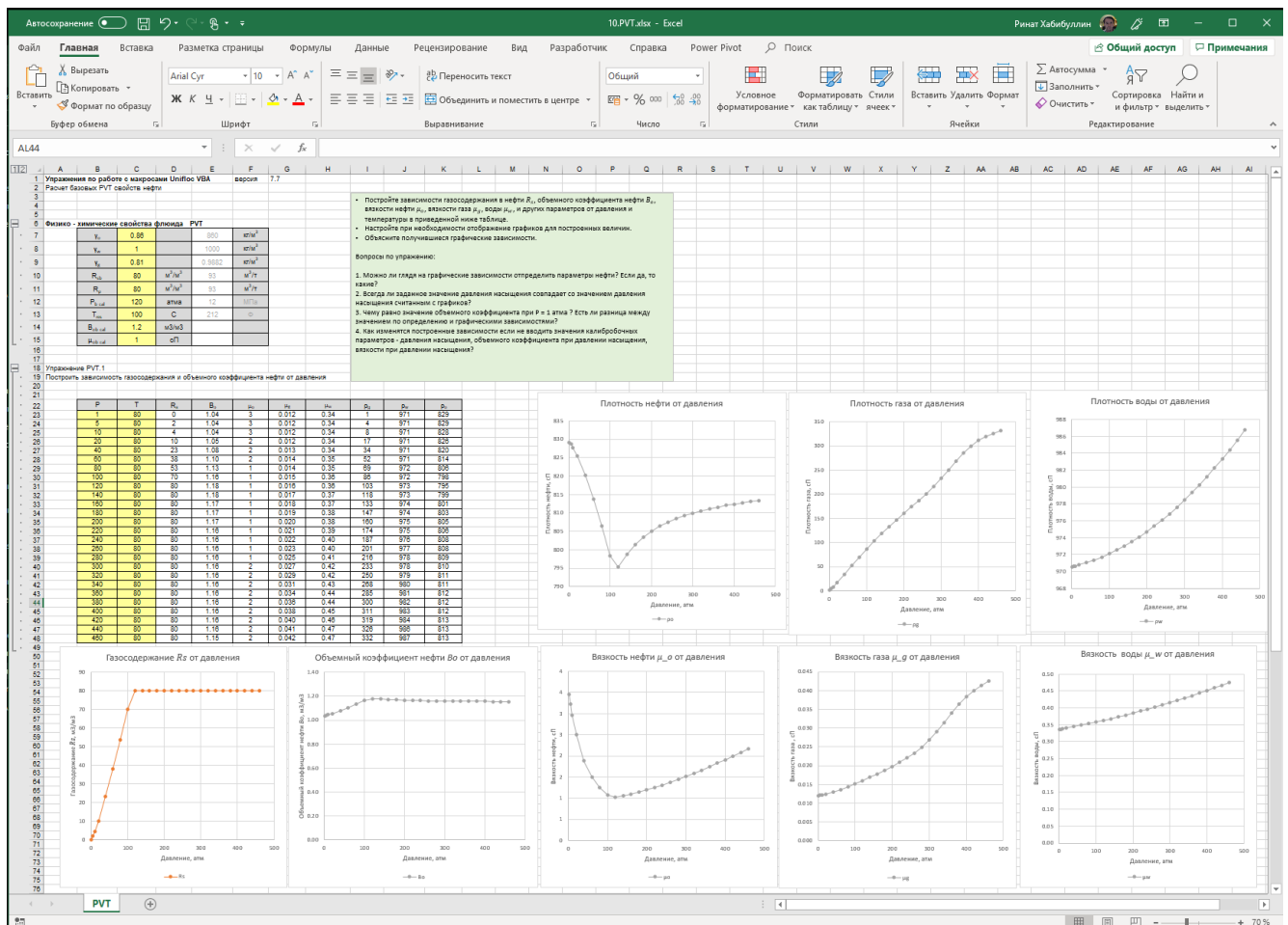


Рис. 3.7 — Результат расчета зависимости свойств пластовых флюидов от давления

3.2 Расчет производительности скважины

Модель притока к скважине является достаточно простой и одновременно полезной, позволяя оперативно оценивать добычные возможности скважины. Для индикаторной диаграммы Вогеля зависимость забойного давления от дебита ниже давления насыщения перестает быть линейной.

Для выполнения упражнения необходимо задать:

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

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

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

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

Рис. 3.8 — Исходные данные для построения индикаторной кривой

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

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

После задания всех необходимых параметров перейдем к построению индикаторной кривой.

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

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

Для вычисления дебита в зависимости от давления Вы можете воспользоваться функцией

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

поместив ее в ячейку E40.

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

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

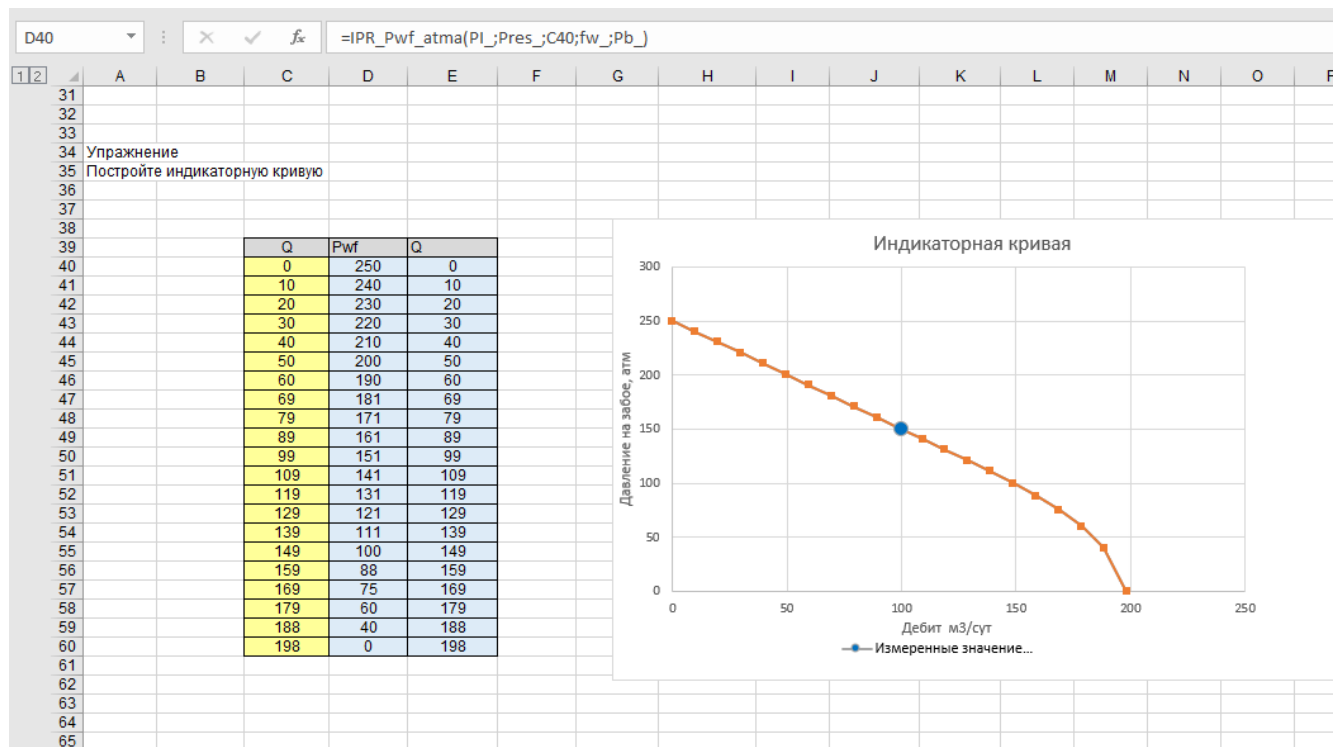


Рис. 3.9 — Результат построения индикаторной кривой

3.3 Расчет свойств многофазного потока

Расчет характеристики потока, состоящего из двух или более фаз, является более сложным, чем вычисление параметров однофазного потока. Вследствие разности плотностей и вязкостей, поведение фаз в потоке может существенно различаться. Расчет параметров газожидкостной смеси необходим для прогнозирования распределения давления в скважине, анализа работы погружного оборудования и т.д.

Аналогично предыдущим упражнениям сперва необходимо задать:

1. PVT свойства флюидов

2. Параметры потока флюида - Q_l - расход жидкости и f_w - обводненность. После этого в ячейке C20 для удобства использования все PVT свойства сгруппируются в единую строку с помощью функции

```
=PVT_encode_string(gamma_gas_; gamma_oil_; gamma_wat_; Rsb_  
Rp_; Pb_; Tres_; Bob_; muob_)
```

<

Рис. 3.10 — Исходные данные для расчета параметров многофазного потока

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

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

=MF_Qmix_m3day(Q_;fw_;C28;D28;PVRstr1_)

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

=MF_gas_fraction_d(C28;D28;fw_;PVRstr1_)

А вязкости газожидкостной смеси μ_{mix} в G28

=MF_Mumix_cP(Q_;fw_;C28; D28; PVRstr1_)

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

Поместите в ячейку J28 строку:

=PVT_encode_string(gamma_gas_; gamma_oil_; gamma_wat_; Rsb_; I28;Pb_; Tres_; Bob_; muob_)

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

=MF_p_gas_fraction_atma(X;20;fw_;J28)

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

Далее для расчета вязкости отдельных фаз потока при различных P,T аналогично воспользуйтесь функциями.

Вязкость смеси μ_{mix} в E98

=MF_Mumix_cP(Q_;fw_;C98;D98;PVRstr1_)

Вязкость газа μ_{gas} в F98

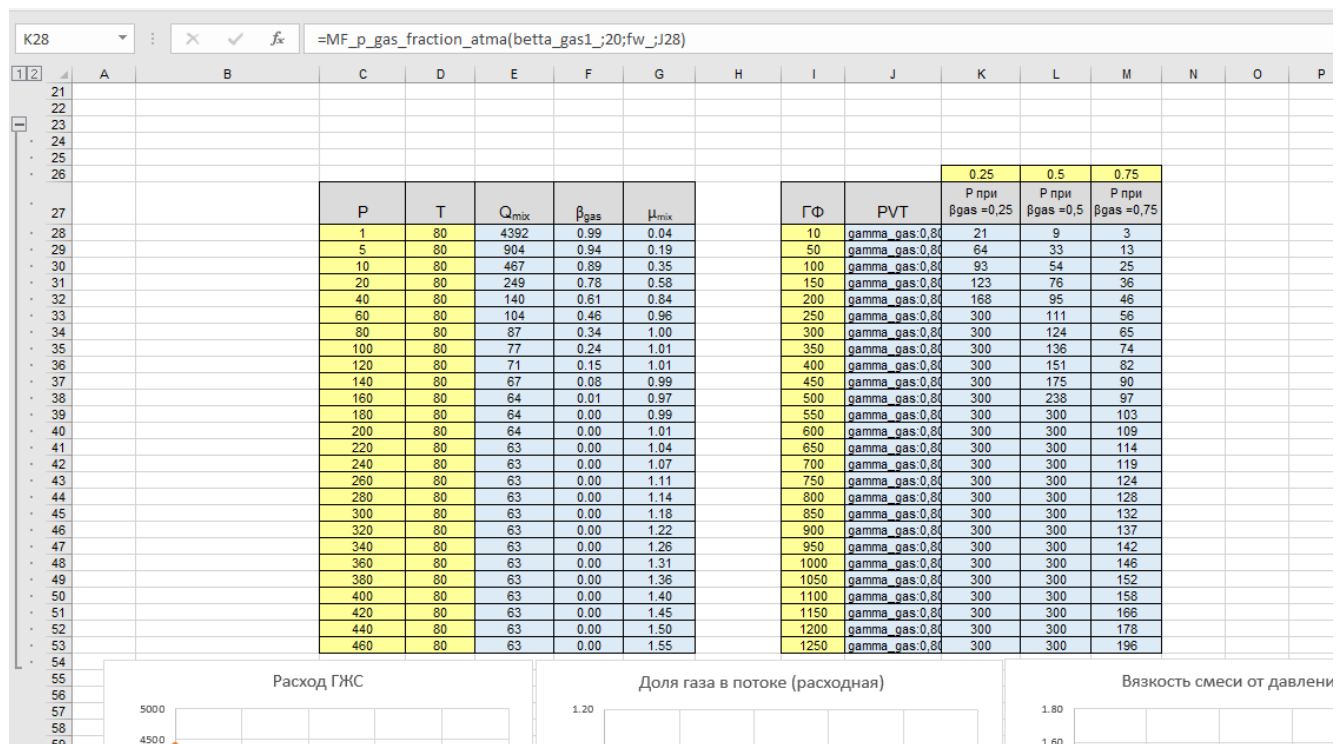


Рис. 3.11 — Расчет параметров многофазного потока

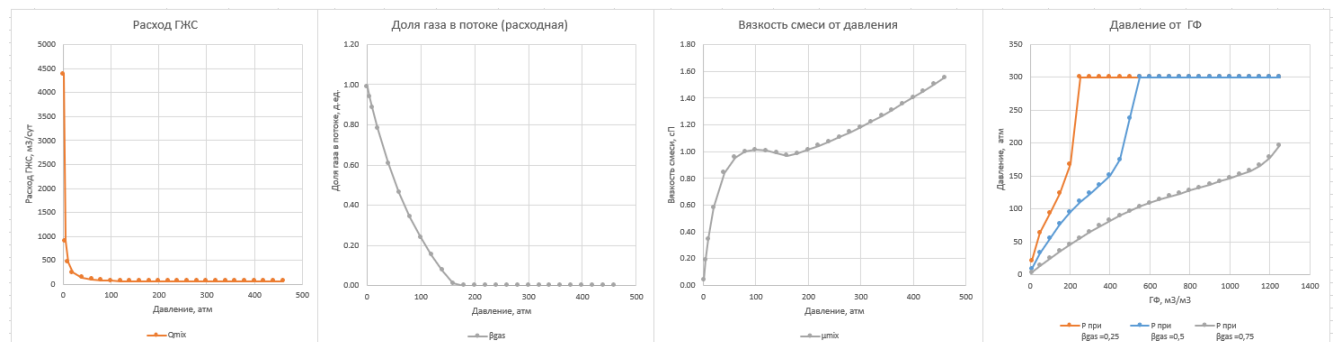


Рис. 3.12 — Графики для параметров многофазного потока

=PVT_Mug_cP(C98; D98; gamma_gas; gamma_oil; gamma_wat; Rsb;
Rp; Pb; Tres; Bob; muob_)

Вязкость нефти μ_o в G98

=PVT_Muo_cP(C98; D98; gamma_gas; gamma_oil; gamma_wat; Rsb;
Rp; Pb; Tres; Bob; muob_)

И вязкость воды μ_w в H98

=PVT_Muw_cP(C98; D98; gamma_gas; gamma_oil; gamma_wat; Rsb;
Rp; Pb; Tres; Bob; muob_)

Для самопроверки ответьте на следующие вопросы

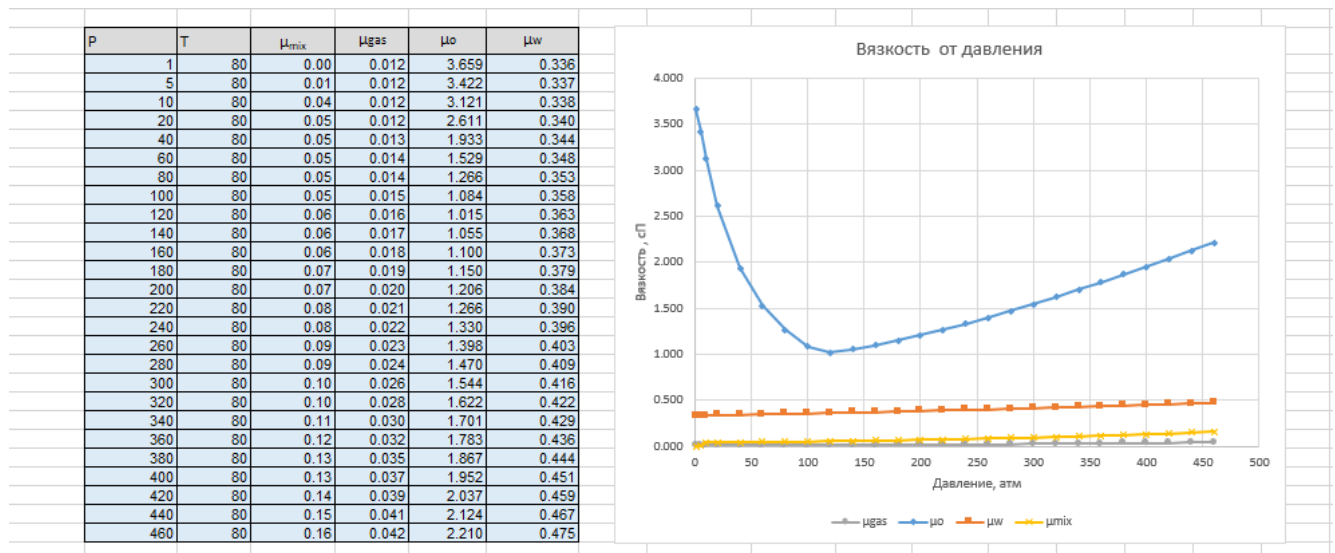


Рис. 3.13 — Разложение вязкости смеси на отдельные компоненты

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

3.4 Расчет штуцера

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

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

В упражнении предлагается рассчитать

1. Линейное давление
2. Буферное давление
3. Дебит вместе с подстроечным параметром

Стоит отметить, что некоторые функции возвращают результат в виде массивов, которые занимают несколько ячеек. (Это можно определить по наличию

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

Рис. 3.14 — Исходные данные для расчета потока через штуцер

1

Рис. 3.15 — Расчет давлений и дебитов через ограничитель

фигурных скобок в строке формул). Поэтому для выдачи правильного результата необходимо выделить диапазон ячеек для будущего расположения массива. (Он выделен синим цветом; если диапазон окажется большим, в лишних ячейках появится сообщение "Н/Д"). После выделения диапазона наберите необходимую формулу и нажмите сочетание клавиш Ctrl+Shift+Enter.

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

```
=MF p choke atma(Qliq ;fw ;d choke;Pbuf ;1;d pipe;T choke;;PVTstr )
```

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

Аналогично для расчета перепада давления

```
=MF p choke atma(Qliq ;fw ;d choke;Pbuf ;1;d pipe;T choke;;PVTstr )
```

Расчет буферного давления по линейному

=MF_p_choke_atma(Qliq_;fw_;d_choke;Plin_;0;d_pipe;T_choke;;PVTstr_)

И перепад давления для данного случая

=MF_dp_choke_atm(Qliq_;fw_;d_choke;Plin_;0;d_pipe;T_choke;;PVTstr_)

Для вычисления дебита с помощью давлений предварительно необходимо рассчитать подстроечный параметр

=MF_cf_choke_fr(Qliq_; fw_; d_choke; Pbuf_; Plin_; d_pipe;
T_choke; PVTstr_)

После возможно рассчитать уже сам дебит через штуцер

=MF_qliq_choke_sm3day(fw_; d_choke; Pbuf_; Plin_; d_pipe;
T_choke; C37; PVTstr_)

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

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

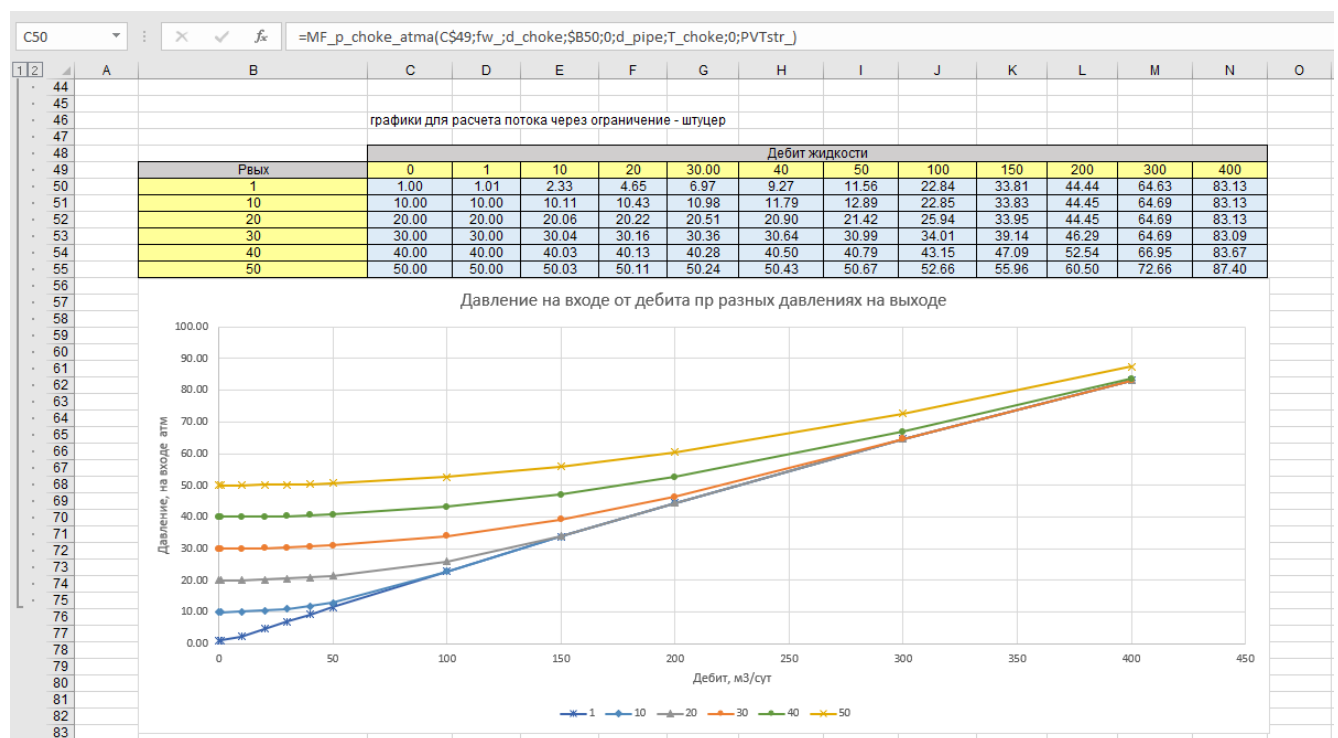


Рис. 3.16 — Давление на входе штуцера в зависимости от различных дебитов на выходе и давлений

Теперь Вы можете ответить на следующие вопросы:

1. Какие параметры описывают гидравлический элемент штуцер? Какие надо задать, а какие можно рассчитать?

2. Постройте зависимость давления на входе в штуцер от дебита. Для всех ли значений дебита можно построить такую зависимость?
3. Настройте модель штуцера по известному дебиту и перепаду давления. Как изменится дебит в этом случае при уменьшении диаметра штуцера

3.5 Расчет распределения давления в трубе

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

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

[illegible]

Рис. 3.17 — Исходные данные для расчета распределения давления

Где параметры трубы расшифровываются следующим образом:

L - длина трубы, м

ID - внутренний диаметр, мм

θ - угол наклона трубы от горизонтали, град

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

T_0, T_1 - температура на верхнем и нижнем конце трубы соответственно, С
Расчет давления в обоих направлениях ведется с помощью одной функции, возвращающий массив из 2 значений - давления и температуры. Выделите диапазон E33:F33, вставьте функцию

=MF_p_pipe_atma(Q_;fw_;l0_;C33;p0_;PVRstr1_;theta_;id_;;t0_)

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

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

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

=MF_p_pipe_atma(Q_;fw_;C57;C56;G57;PVRstr1_;theta_;id_;;t1_)

Для закрепления материала ответьте на вопросы

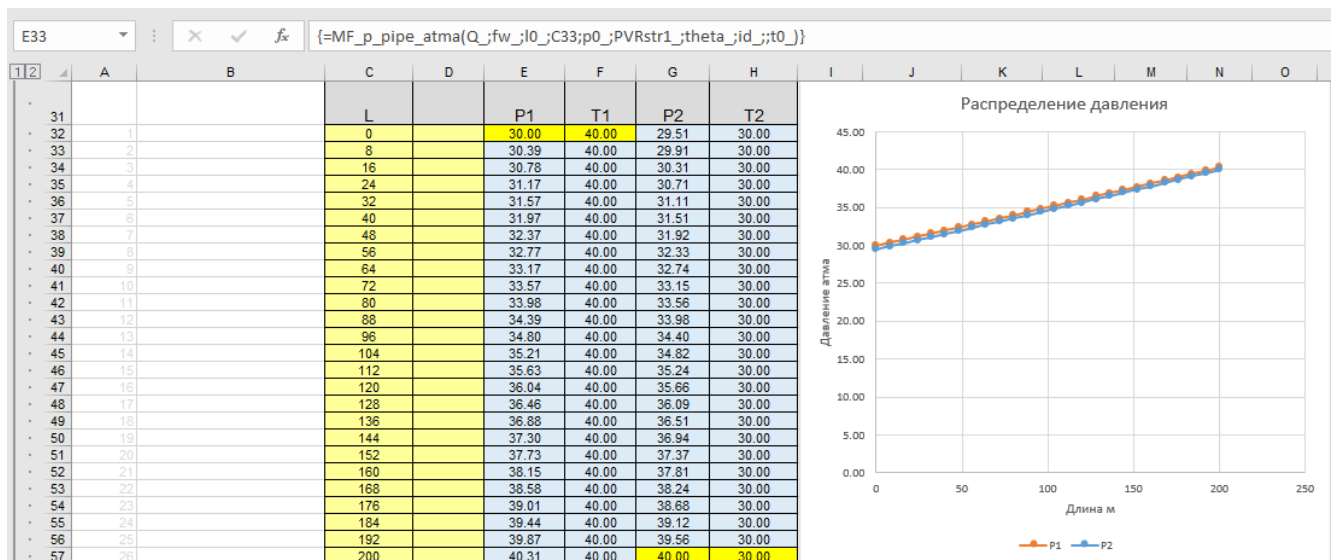


Рис. 3.18 — Распределение давления по трубе сверху-вниз и снизу-вверх

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

3.6 Расчет коэффициентов сепарации

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

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

1	Упражнения по работе с макросами Unifloc VBA				версия	7.7
2	Расчет коэффициентов сепарации					
3						
4						
5						
6	Физико - химические свойства флюида					
7	γ_o	0.875			875	кг/м ³
8	γ_w	1			1000	кг/м ³
9	γ_g	0.9			1.098	кг/м ³
10	R_{so}	80	м3/м3	м ³ /м ³	91	м ³ /т
11	R_o	80	м3/м3	м ³ /м ³	91	м ³ /т
12	$P_{b,cal}$	120	атм	атма	122	МПа
13	T_{res}	120	С	С	248	Ф
14	$B_{ob,cal}$	1.2	м3/м3			
15	$\mu_{ob,cal}$	1	сР			
16	f_w	1	%			
17						
18	Данные по скважине					
19	d_{cas}	125	мм			
20	d_{intake}	100	мм			
21	P_{intake}	30	атм			
22	T_{intake}	80	С			
23						
24						
25	PVT строка				gamma_gas:0.900;gamma_oil:0.875;gamma_wat:1.000;rsb_m3m3:80.000;rp_m3m3:80.000;pb_atma:120.000;tres_C:120.000;bob_m3m3:1.200;muob_cp:1.000;PVTcorr:0;ksep_fr:0.000;pksep_atma:-1.000;tksep_C:-1.000;	
26						

Дополнительные вопросы по упражнению (направления исследований)

1. От каких параметров будет зависеть коэффициент сепарации?

Рис. 3.19 — Исходные данные для сепарации

где

d_{cas} - диаметр обсадной колонны, мм

d_{intake} - диаметр приема погружного оборудования, мм

P_{intake} - давление на приеме, атм

T_{intake} - температура на приеме, С

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

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

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

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

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

Для расчета доли газа в газосепараторе применяется функция

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

Коэффициент сепарации газосепаратора

=MF_ksep_gasseparator_d(gassep_type;G32;C32)

При этом можно менять тип газосепаратора в ячейке H30

Общий коэффициент сепарации

=MF_ksep_total_d(E32;H32)

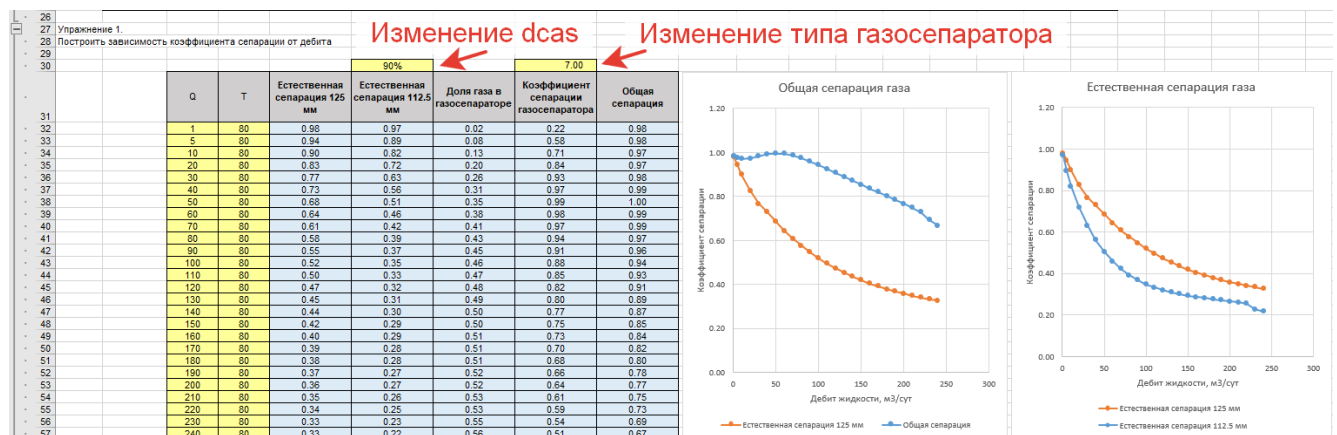


Рис. 3.20 — Результаты расчета естественной и искусственной сепарации

Вопросы к упражнению

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

3.7 Анализ работы ЭЦН

Сегодня доминирующая доля нефти в РФ добывается при помощи ЭЦН. Требуется детальное понимание основных особенностей эксплуатации данного оборудования, режимах работы, возможных осложнениях по причине высокой вязкости продукции, газосодержания, механических примесей и т.д.

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

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

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

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

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

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

H_{pump} - глубина спуска насоса, м

ID_{cas} - внутренний диаметр обсадной колонны, мм

OD_{tub} - внешний диаметр НКТ, мм

ID_{tub} - внутренний диаметр НКТ, мм

D_{intake} - диаметр приемной сетки ЭЦН, мм

P_{buf} - буферное давление, атм

P_{intake} - давление на приеме ЭЦН, атм

T_{intake} - температура на приеме ЭЦН, С

P_{dis} - давление на выкиде ЭЦН, атм

P_{wf} - давление на забое, атм

Q_{liq} - дебит жидкости в поверхностных условиях, м³/сут

f_w - обводненность в поверхностных условиях, %

Параметры, описывающие ЭЦН:

ЭЦН Q_{nom} - номинальная подача ЭЦН, м³/сут

ЭЦН H_{nom} - номинальная напор ЭЦН, м

F - частота питающего тока двигателя, Гц

ЭЦН ID - идентификационный номер насоса (по формуле, см. ниже), находящийся в базе Unifloc 7.9 VBA

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

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

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

Дополнительные вопросы по упражнению (направления исследований)

1. Какие параметры влияют на перепад давления в насосе?

Рис. 3.21 — Исходные данные для свойств флюида и параметров скважины

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

K_{sep} - коэффициент сепарации газосепаратора, %

P_{sep} - давление сепарации, атм

T_{sep} - температура сепарации, С

Данные о пласте:

P_{res} - пластовое давление, атм

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

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

Для получения идентификационного номера насоса в базе Unifloc 7.9 VBA была использована формула

=ESP_id_by_rate(Q_ESP_)

Для определения обозначения ЭЦН

=ESP_name(C37)

Расчет максимально возможного дебита

=esp_max_rate_m3day(Freq_ ; PumpID_) *1

Количество ступеней

33	ЭЦН								
34		ЭЦН Q _{ном}	110	м3/сут					
35		ЭЦН H _{ном}	2000	м					
36		F	50	Гц					
37		ЭЦН ID	737						
38		ЭЦН имя	ВНН5-125						
39		ЭЦН Q _{max}	230						
40		Ступени	324	шт					
41		K _{сер gc}	90%						
42		P _{сер}	80.00	атм					
43		T _{сер}	80.00	С					
44									
45	Пласт								
46		P _{плс}	250	атм					
47		PI	0.29	м3/сут/атм					
48		dT/dL	3	град/100 м					
49		N	20						

Рис. 3.22 — Исходные данные для ЭЦН и пласта

$$= \text{CEJJOE}(\text{Head ESP} / \text{ESP head m}(\text{Q ESP} ; 1 ; ; \text{PumpID}))$$

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

```
=ESP Encode string(PumpID ;Head ESP ;Freq )
```

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

```
=MF gas fraction d(Pintake ;Tintake ;fw ;PVTstr)
```

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

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

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

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

КПД ЭЦН в долях единиц

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

Потребляемую ЭЦН мощность в Вт

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

Расчет перепада давления, развиваемого насосом, может происходить методом "сверху-вниз" и "снизу-вверх", при этом расчет перепада температур только

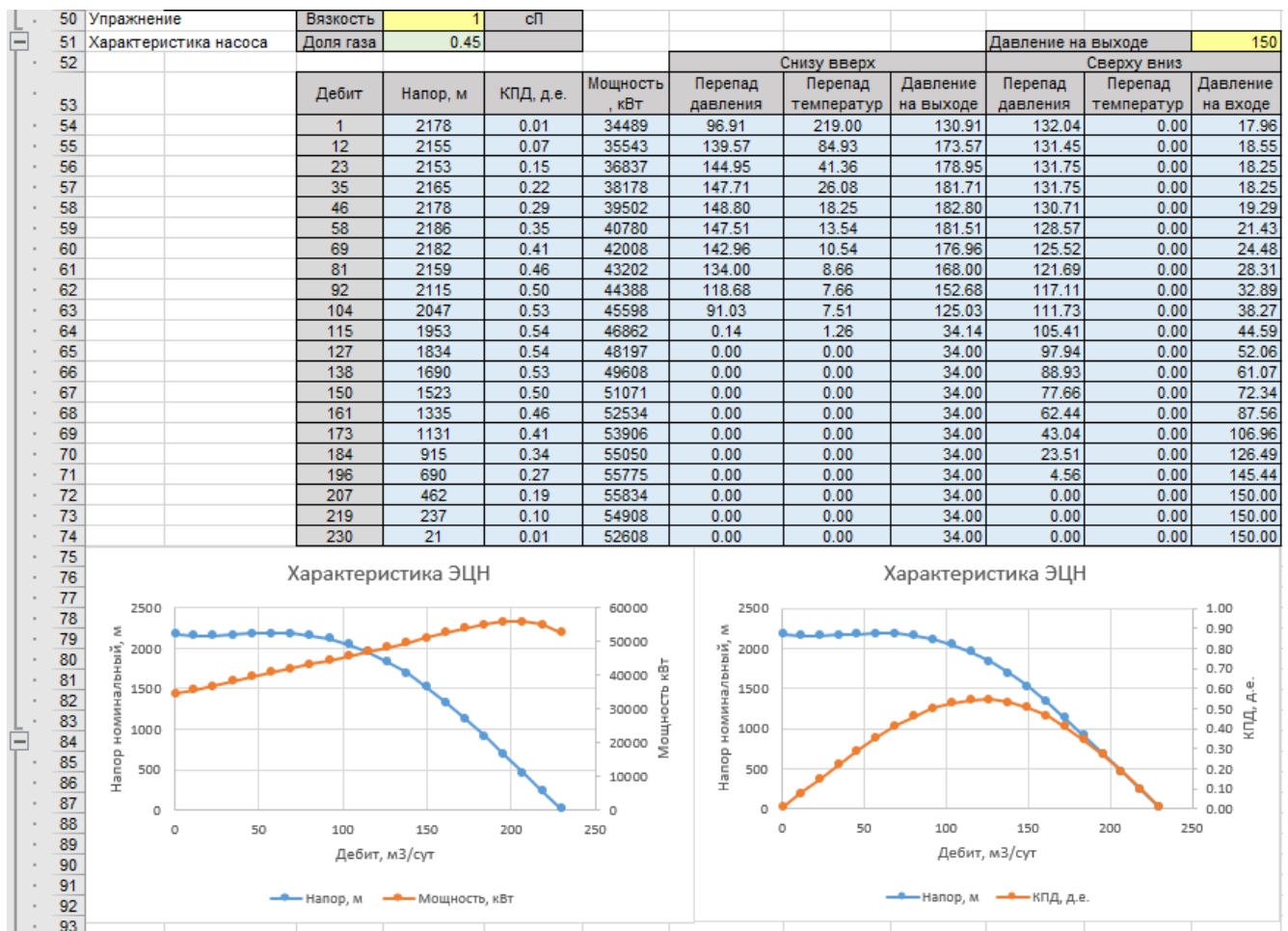


Рис. 3.23 — Напорные характеристики ЭЦН с поправкой на вязкость

методом ”снизу-вверх”. Функция расчета перепада давления и температуры возвращает массив значений, т.е. одновременно перепад давления и температуры. Кроме того, входным параметром для данной функции является направление расчета. Для вычисления выделите диапазон G54:H54, наберите формулу

```
=ESP_dP_atm(C54; fw; Pintake_; NumStage_; Freq_; PumpID_;  
PVTstr; Tintake_; 0)
```

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

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

```
=G54+Pintake_
```

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

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

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

=Pdis-J54

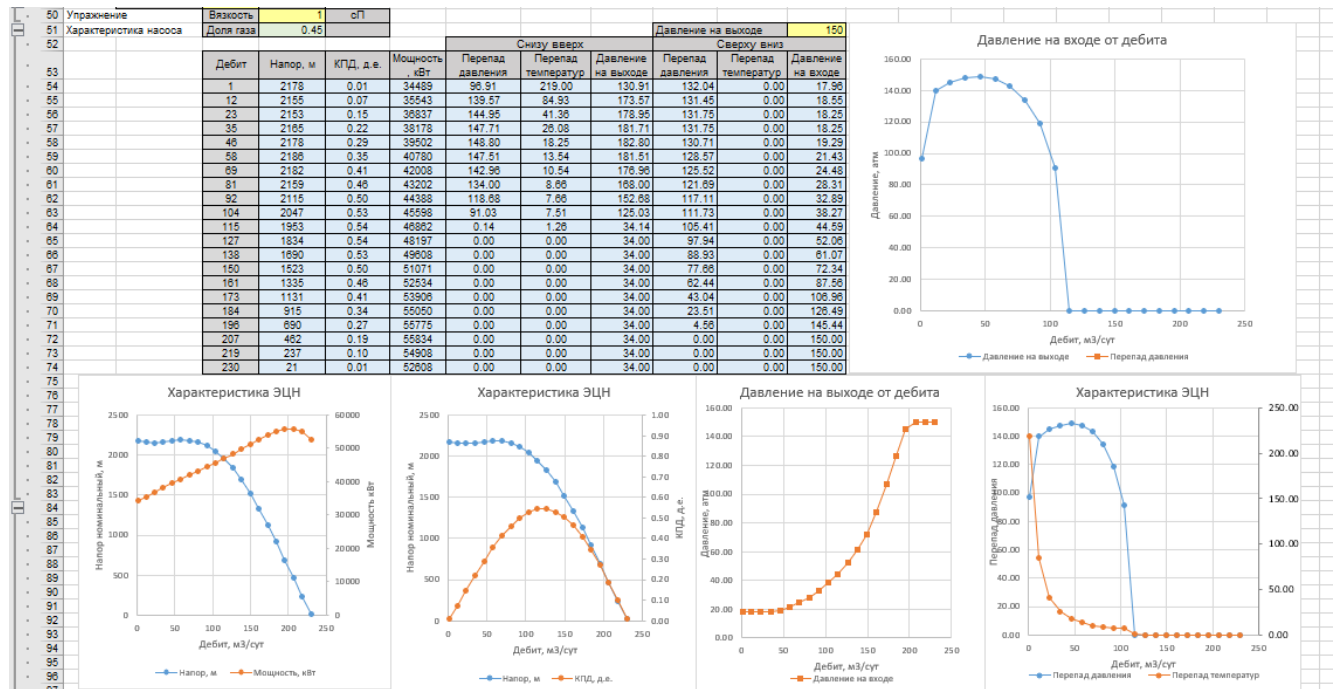


Рис. 3.24 — Расчет перепада давления и температур в ЭЦН в зависимости от дебита

Вопросы для упражнения:

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

3.8 Анализ работы ПЭД

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

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

Для выполнения упражнения необходимо задать параметры электродвигателя

U_{nom} - номинальное напряжение ПЭД, В

F_{nom} - номинальная частота тока, Гц

I_{nom} - номинальная сила тока, А

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

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

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

=Motor_Pnom_kW(Unom; Inom; Fnom; ID)

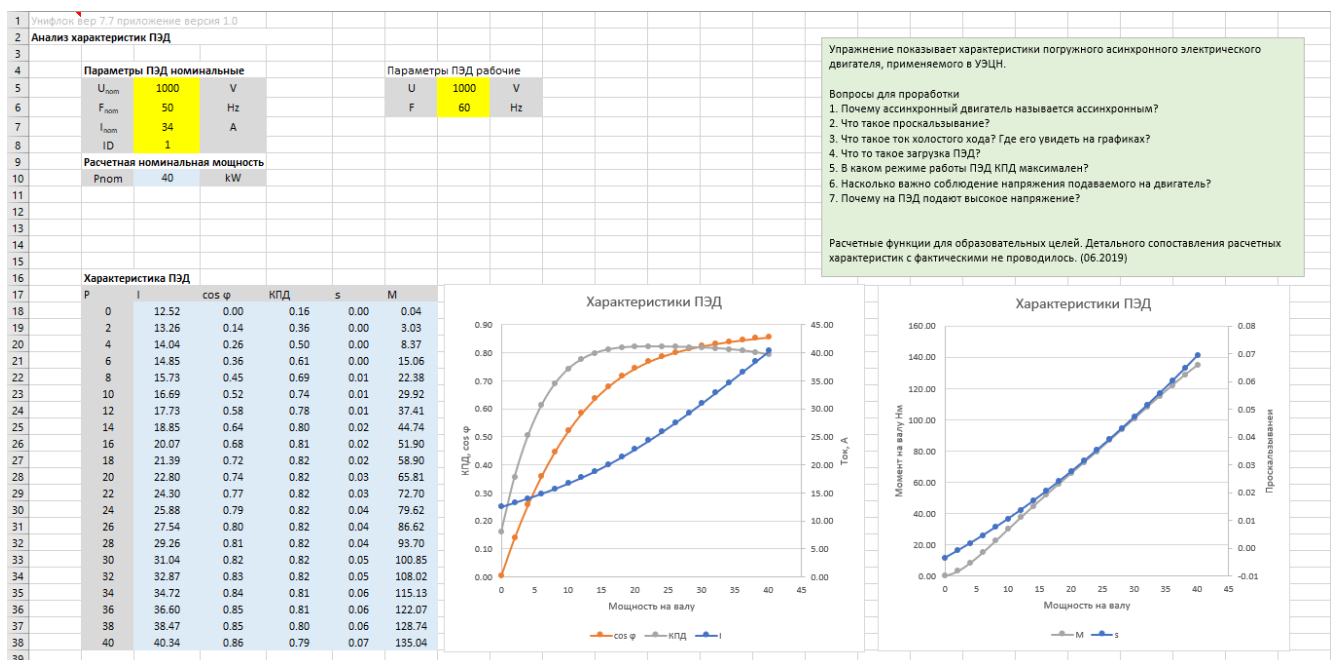


Рис. 3.25 — Исходные данные ПЭД и различные характеристики в зависимости от мощности на валу

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

Определение тока двигателя I , А

=motor_I_A(B18; F; U; Unom; Inom; Fnom; ID)

Расчет $\cos \varphi$

=motor_CosPhi_d(B18; F; U; Unom; Inom; Fnom; ID)

КПД, д.ед.

=motor_Eff_d(B18; F; U; Unom; Inom; Fnom; ID)

Проскальзывание S

=motor_S_d(B18;F;U;Unom;Inom;Fnom;ID)

Момент на валу M , Н*м

=motor_M_Nm(B18;F;U;Unom;Inom;Fnom;ID)

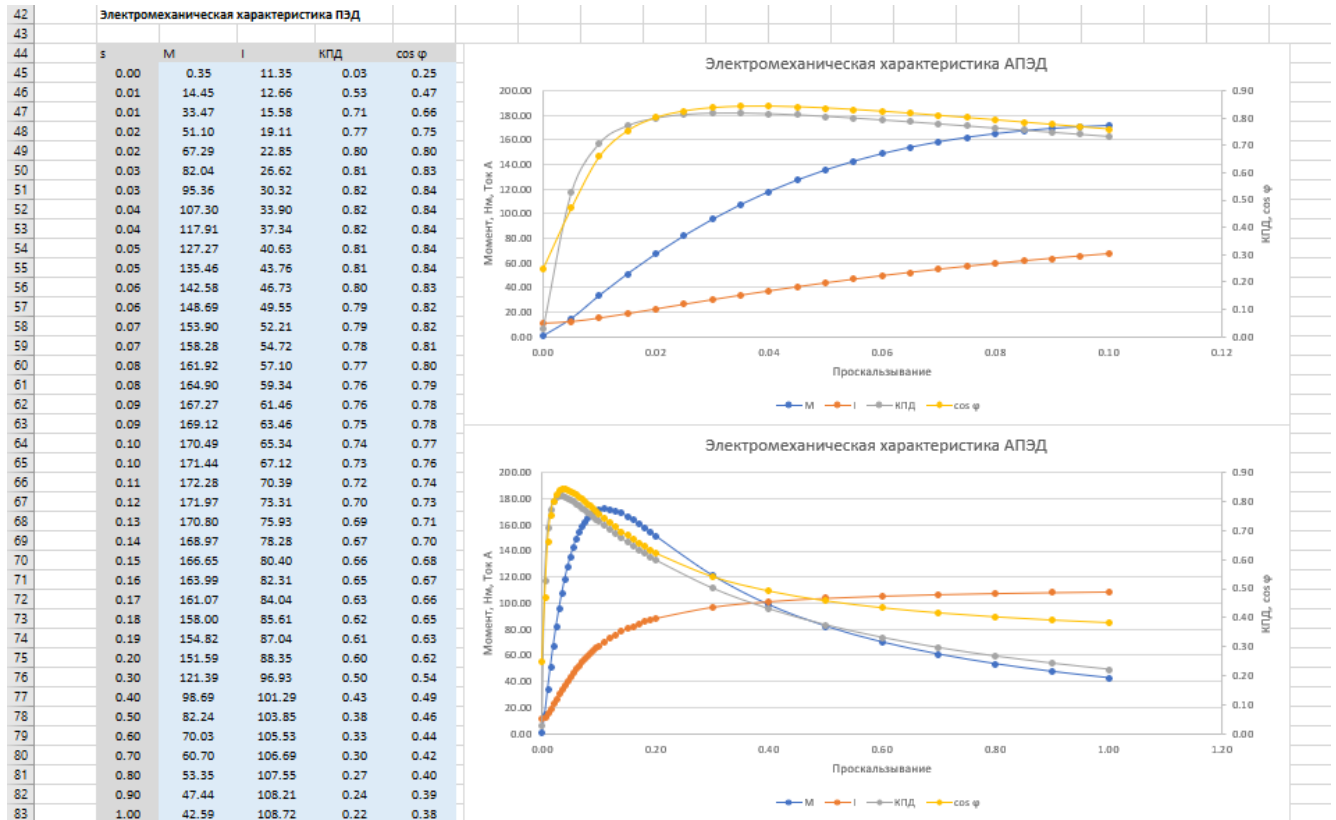


Рис. 3.26 — Электромеханическая характеристика АПЭД

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

Момент на валу M , Н*м

=motor_M_slip_Nm(B45;F;U;Unom;Inom;Fnom;0)

Сила тока I , А

=motor_I_slip_A(B45;F;U;Unom;Inom;Fnom;0)

КПД, д.ед.

=motor_Eff_slip(B45;F;U;Unom;Inom;Fnom;0)

Расчет $\cos \varphi$

=motor_CosPhi_slip(B45;F;U;Unom;Inom;Fnom;0)

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

=motor_Eff_d(C\$90;F;\$B91;Unom;Inom;Fnom;ID)

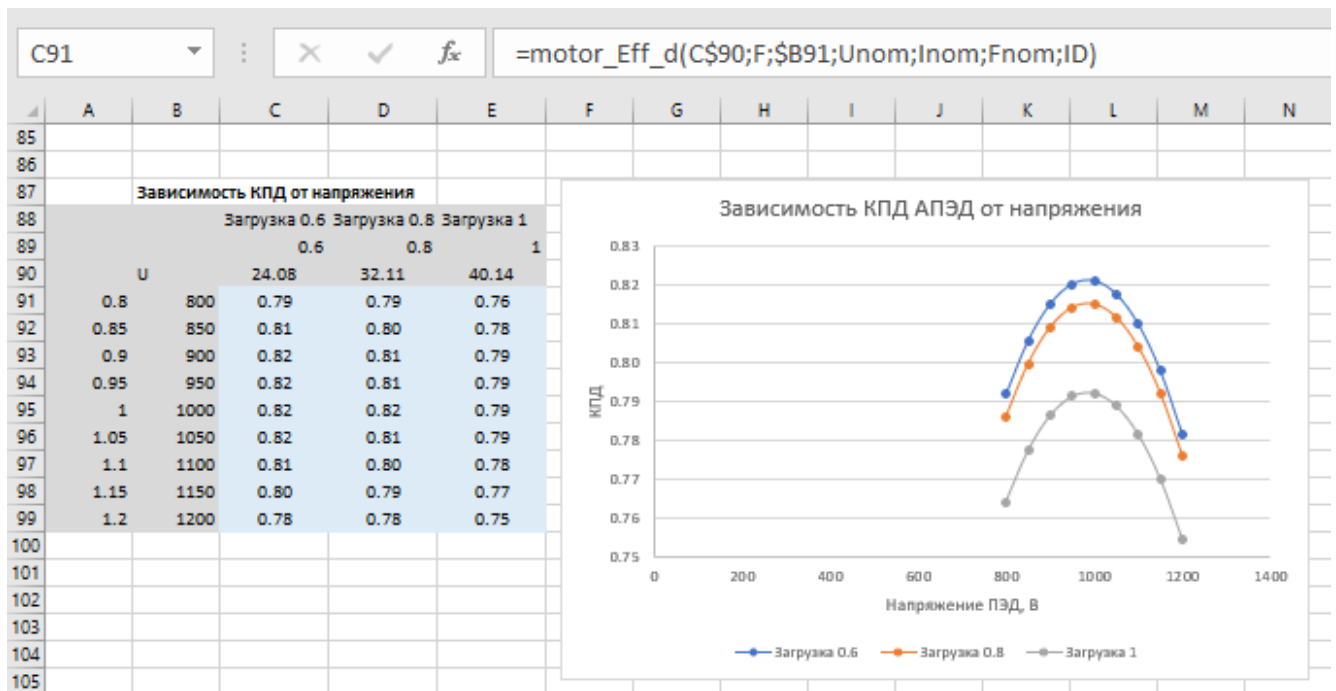


Рис. 3.27 — Зависимость КПД АПЭД от напряжения и загрузки

=motor_Eff_d(D\$90;F;\$B91;Unom;Inom;Fnom;ID)

=motor_Eff_d(E\$90;F;\$B91;Unom;Inom;Fnom;ID)

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

Вопросы для упражнения:

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

3.9 Анализ работы фонтанирующей скважины

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

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

=well_encode_string(Hmes_;Htube_;Udl_;Dcas_;Dtub_;0;;Twf_;Tbuf_)

Wellstr1

<

Рис. 3.28 — Исходные данные для расчета фонтанирующей скважины

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

=MF_p_pipe_atma(Qtest_; fw_;C49; C50;E49;PVRstr1_; theta_;Dtub_;;D49

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

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

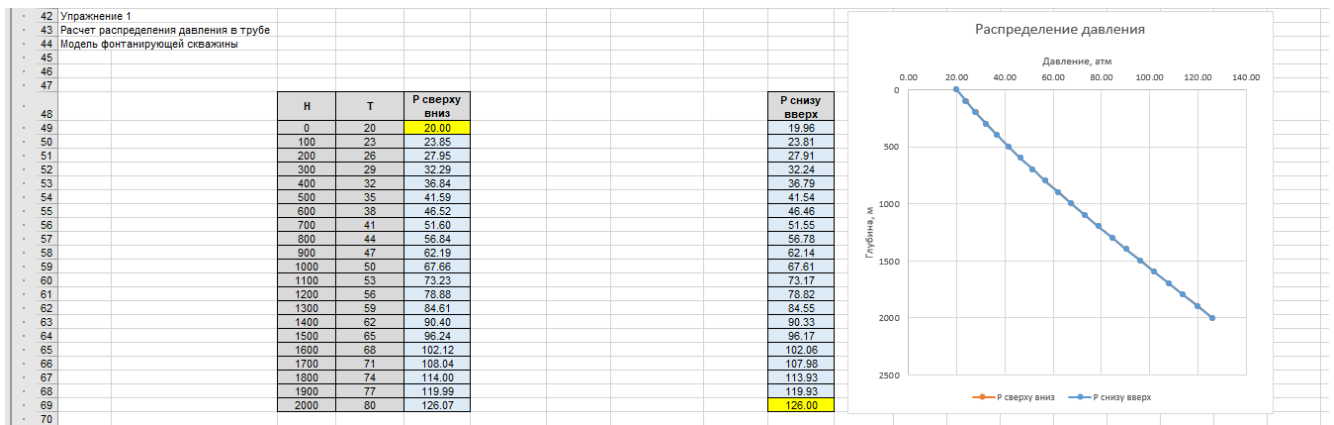


Рис. 3.29 — Расчет КРД в фонтанирующей скважине

системы. Точка пересечения кривых притока и оттока будет являться рабочей точкой системы "пласт-скважина".

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

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

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

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

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

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

Заполнив таблицу до конца Вы получите следующий результат

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

В ячейке *H108*

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

В ячейке *I108*

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

Теперь Вы можете ответить на вопросы:

Вопросы для проработки

1. Постройте распределение давления методом сверху-вниз и снизу-вверх.

При каком условии эти кривые совпадут?

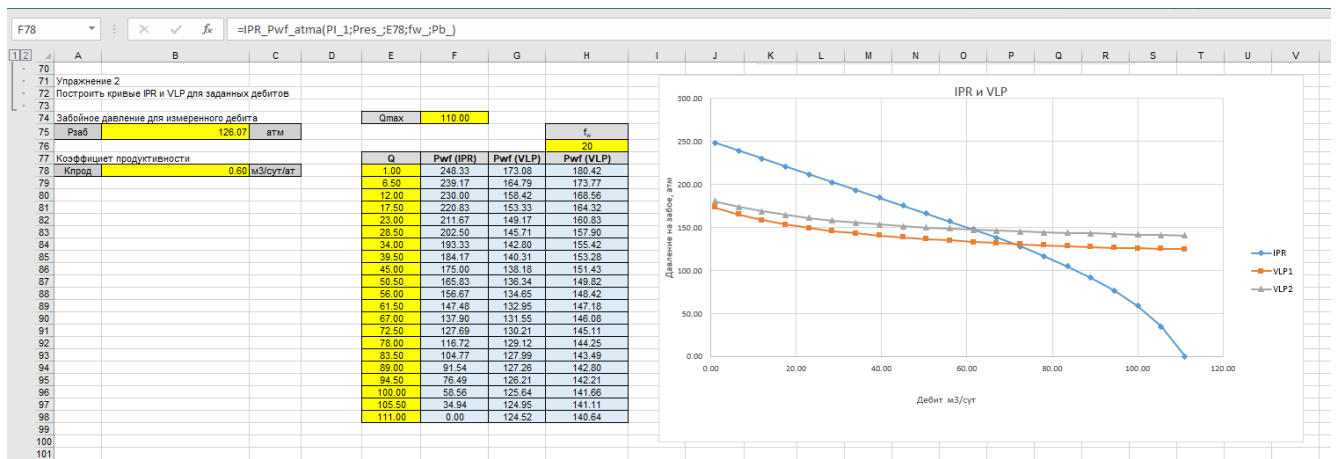


Рис. 3.30 — Кривые оттока и притока для узлового анализа работы фонтанирующей скважины

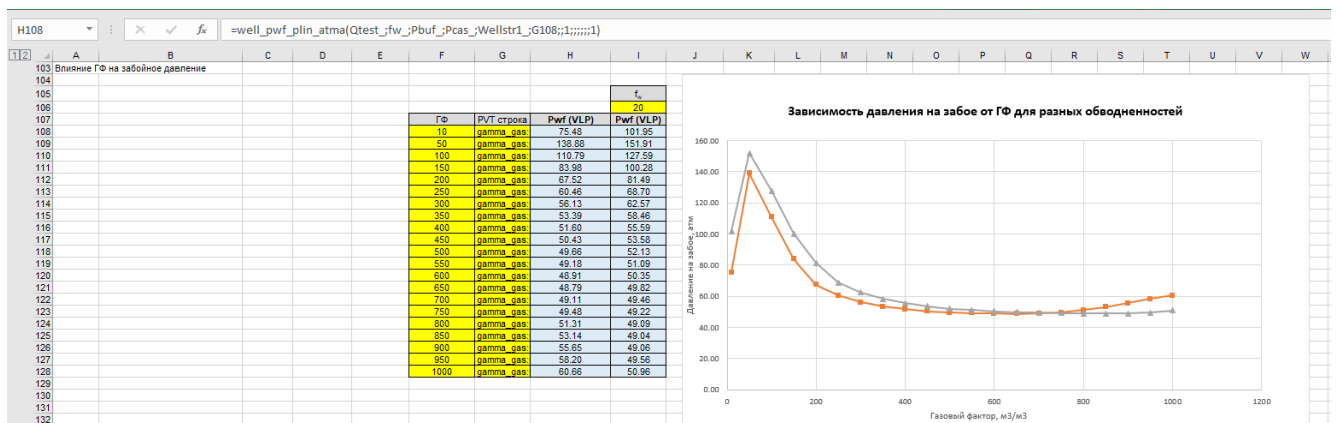


Рис. 3.31 — Влияние газового фактора и обводненности на забойное давление

2. С помощью кривых притока (IPR) и оттока (VLP) определите рабочую точку системы "скважина-пласт". От чего зависит ее положение?
3. Как газовый фактор влияет на кривую оттока?

3.10 Анализ работы скважины, оснащенной УЭЦН

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

```

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

```

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

<

Рис. 3.32 — Исходные данные для расчета скважины, оснащенной УЭЦН

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

Кривую давления от забоя до приема можно получить с помощью функции

```

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

```

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

Затем в ячейке G78 можно определить коэффициент естественной сепарации

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

А в H78 искусственную с помощью

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

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

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

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

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

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

Полезным для анализа работы добывающей системы будет знание о доли газа в потоке как до приема погружного оборудования (начиная с ячейки I83)

```
=MF_gas_fraction_d(F83;D83;fw_;PVT_str_)
```

так и после сепарации в НКТ (с J78)

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

На этом первая часть упражнения завершается.

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

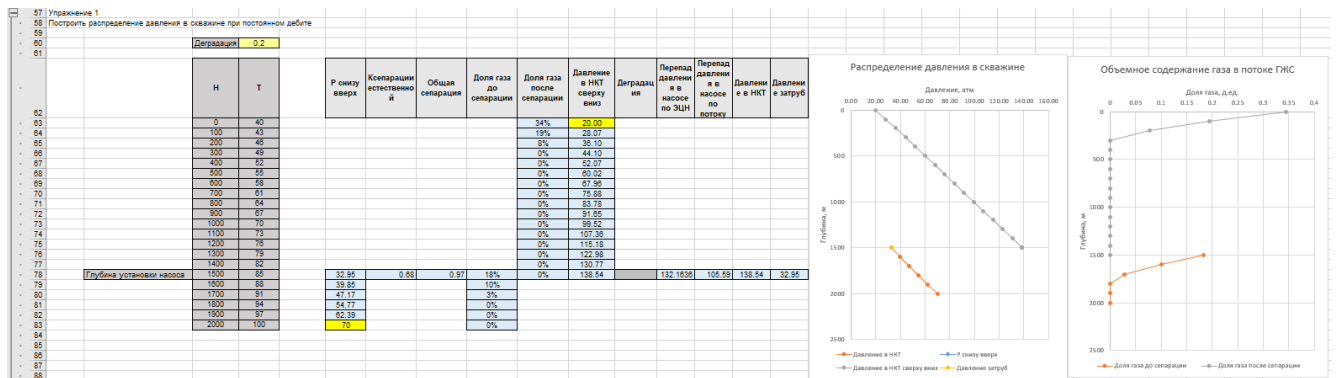


Рис. 3.33 — Распределение давления в скважине с постоянным дебитом

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

$$=MF_p_pipe_atma(Qreal_; fw_; C115; C114; K115; PVT_str_2; theta_; Dintake_; D115; D114)$$

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

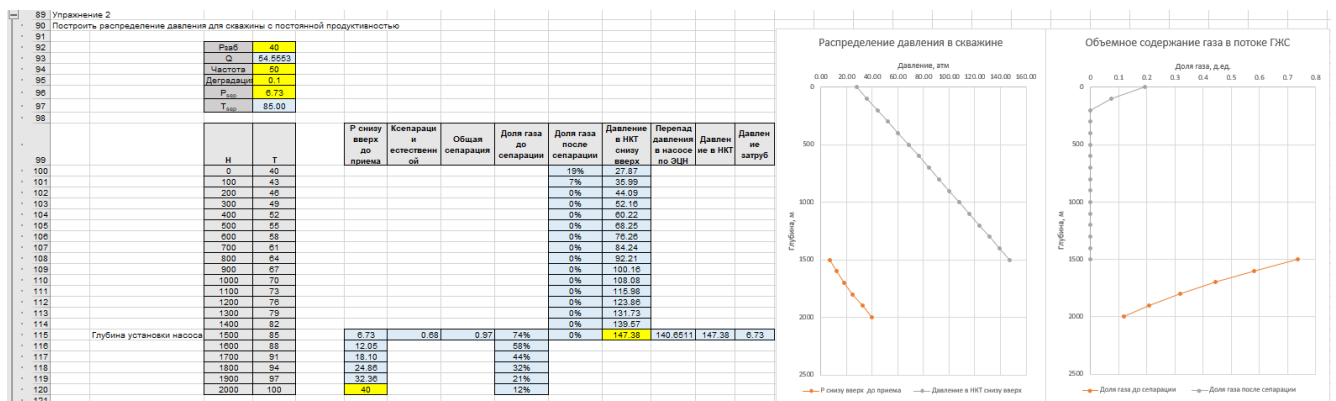


Рис. 3.34 — Распределение давления в скважине с постоянной продуктивностью

С помощью дополнительных исследований (при необходимости) ответьте на вопросы

1. Как влияет сепарация, естественная и искусственная, на работу скважины?
2. Что позволяет учесть коэффициент деградации напорной характеристики ЭЦН?

3. Какое минимальное забойное давление можно считать оптимальным?

3.11 Анализ работы скважины, оснащенной ЭЦН, фонтанирующей через затрубное пространство

Общая теория

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

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

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

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

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

Процесс моделирования добывающей системы осложняется тем, что неизвестны доли жидкости: поступающая в насос и НКТ и поднимающаяся по затрубному пространству. Для этого введем коэффициент деления потока ГЖС,

1	Упражнения по работе с макросами Uniflow VBA	версия 7.7
2	Расчет распределения давления в скважине с ЗЦН, в которой происходит фонтанирование через затрубное пространство	
3		
4		
5		
6	Физико-химические свойства флюида	
7	$\gamma_{\text{ж}}$	0.87
8	$\gamma_{\text{г}}$	1
9	$\gamma_{\text{с}}$	0.8
10	$R_{\text{ж}}$	200
11	$R_{\text{г}}$	200
12	$R_{\text{с}}$	130
13	$T_{\text{ж}}$	100
14	$V_{\text{ж}}$	1.2
15	$\rho_{\text{ж}}$	5
16		
17	Данные по скважине	
18	$H_{\text{пл}}$	2000
19	$H_{\text{пл}} - H_{\text{нкт}}$	0
20	$H_{\text{нкт}}$	1500
21	$ID_{\text{пл}}$	125
22	$OD_{\text{пл}}$	73
23	v	90
24	$ID_{\text{н}}$	63
25	$OD_{\text{н}}$	100
26	$R_{\text{н}}$	10
27	$P_{\text{нпл}}$	38.8
28	$T_{\text{нпл}}$	85
29	$P_{\text{нн}}$	150
30	$Q_{\text{нпл}}$	100
31	$P_{\text{н}}$	75
32	$Q_{\text{н}}$	60
33	$f_{\text{с}}$	0
34	$Q_{\text{с}}$	40
35	$d_{\text{затрубное}}$	52.0
36		
37	ЗЦН	
38	ЗЦН $Q_{\text{ж}}$	100
39	ЗЦН $H_{\text{пл}}$	2000
40	F	50
41	ЗЦН ID	73
42	ЗЦН $slip$	ВНН-125
43	ЗЦН $Q_{\text{ж}}$	230
44	Сепарация	50%
45	$R_{\text{н}}$	38.80
46	$T_{\text{н}}$	85.00
47		
48	Плат	
49	$P_{\text{пл}}$	250
50	PI	0.38
51	dI/dL	3
52		

• Общая теория

При спуске погружного оборудования в фонтанирующую скважину газожидкостный поток у приема разделяется на 2 составляющие: поток с низким газосодержанием после сепарации естественной и искусственной в НКТ и поток с большой долей свободного газа в затрубное пространство. При этом ЗЦН за счет энергии движения ГЖС работает практически на холостом ходу, развивая обычный перепад давления по напорной характеристике. Также при дебите больше, чем максимально возможный перепад давления, насос может происходить турбулентное вращение, насос будет работать как гидравлическое сопротивление. Перегрев электродвигателя не происходит, т.к. он непрерывно охлаждается общим газожидкостным потоком.

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

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

Вопросы по упражнению

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

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

PVT строка в насос и НКТ	$\gamma_{\text{ж}}=0.870; \gamma_{\text{г}}=1.000; \gamma_{\text{с}}=0.870; \text{wat}=1.000; \text{rb}=0.000; \text{rb_m3m3}=200.000; \text{rb_atma}=150.000; \text{tres}=0.000; \text{muob}=0.000; \text{cp}=5.000; \text{PVTcom}=0.000; \text{fr}=0.800; \text{pksep_atma}=38.800; \text{tksep_C}=85.000;$
ЗЦН строка	$Q_{\text{ж}}=100.000; \text{ESP_U_V}=1000.000; \text{MotorPowerNom_kW}=30.000; \text{Timake_C}=85.000; \text{Tids_C}=85.000; \text{KsepGS_fr}=0.000; \text{ESP_energy_fact_Whday}=0.000; \text{ESP_cable_type}=0; \text{ESP_Hmes_m}=0.000; \text{GasDegrType}=0; \text{Kdeg}=0.000;$
PVT строка в затрубное пространство	$\gamma_{\text{ж}}=0.870; \gamma_{\text{г}}=1.000; \gamma_{\text{с}}=0.870; \text{wat}=1.000; \text{rb}=0.000; \text{rb_m3m3}=200.000; \text{rb_atma}=150.000; \text{tres}=0.000; \text{muob}=0.000; \text{cp}=5.000; \text{PVTcom}=0.000; \text{fr}=0.800; \text{pksep_atma}=1.000; \text{tksep_C}=1.000;$

Рис. 3.35 — Набор исходных данных, для расчета фонтанирования через затрубное пространство

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

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

$\text{=MF_p_pipe_atma}(Q_{\text{annular}}; fw; C81; C80; Q81; \text{PVT_str_annular}; \theta; d_{\text{annular_pr}}; 1; D81; D80)$

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

$\text{=MF_gas_fraction_d}(Q81; D81; fw; \text{PVT_str_annular})$

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

Таким образом, с помощью КРД в затрубном пространстве и НКТ предлагается найти такие параметры системы (изменяя коэффициент деления потока,

коэффициент деградации напорной характеристики насоса и т.д.) при котором давление в затрубном пространстве будет равным или большим, чем буферное давление.

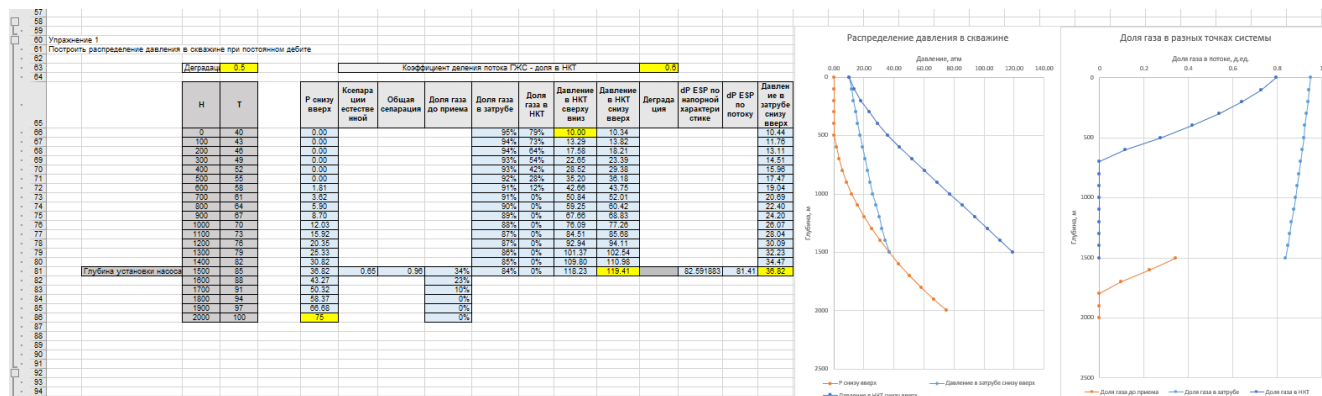


Рис. 3.36 — Настроенная модель скважины с равными давлениями на устье

Вопросы по упражнению

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

3.12 Набор расчетных модулей анализа скважины

Пример использования алгоритмов Unifloc 7.9 VBAприведен в файле UF7 calc well.xlsm.

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

3.12.1 Расчетный модуль анализа и настройки PVT свойств

Заключение

Заключение возможно будет тут когда то

Единицы измерений

Давление

atm, атм — физическая атмосфера

atma, атма — абсолютное значение величины в атмосферах

atmg, атми — избыточное (измеренное) значение величины в атмосферах.
отличается от абсолютной на величину атмосферного давления (1.01325 атма)

Список сокращений и условных обозначений

- γ_g - gamma_gas - удельная плотность газа, по воздуху.
- γ_o - gamma_oil - удельная плотность нефти, по воде.
- γ_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_C пластовая температура, °C.
- B_{ob} - Bob_m3m3 объёмный коэффициент нефти, м3/м3.
- μ_{ob} - Muob_cP. вязкость нефти при давлении насыщения, сП.
- Q_{liq} - Qliq_scm3day. дебит жидкости измеренный на поверхности (приведенный к стандартным условиям), м3/сут.
- f_w - fw_perc, fw_fr объёмная обводненность (fraction of water), проценты или доли единиц.
- PI - pi_sm3dayatm - коэффициент продуктивности скважины, м3/сут/атм

Словарь терминов

VBA — Visual Basic for Application язык программирования встроенный в Excel и использованный для написания макросов Unifloc 7.9 VBA.

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

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

BHT, TBN — Bottom hole temperature. Забойная температура

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

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

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

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

ZNLF — Zero net liquid flow. Барботаж - движение газа через столб неподвижной жидкости. Соответствует условиям движения газа в затрубном пространстве при эксплуатации добывающих скважин с использованием погружных насосов.

ЭЦН — Электрический центробежный насос.

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

ESP — Electrical submersible pump. Электрический центробежный насос.

GL — Gas Lift. Газлифтный способ эксплуатации добывающих скважин.

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

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

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

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

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

Список литературы

1. Стандарт компании ЮКОС. Физические свойства нефти. Методы расчета / М. Хасанов [и др.]. — Уфа Москва, 2002. — 45 с.
2. *Lee, A.* The Viscosity of Natural Gases SPE-1340-PA / A. Lee, M. Gonzalez, B. Eakin // J Pet Technol. — 1966.
3. *McCain Jr., W.* Reservoir-Fluid Property Correlations-State of the Art (includes associated papers 23583 and 23594) / W. McCain Jr. // SPE Res Eng SPE-18571-PA. — 1991.
4. *Marquez, R.* A New Robust Model For Natural Separation Efficiency / R. Marquez, M. Prado // SPE 80922-MS. — 2003.
5. Результаты исследований работы погружных центробежных газосепараторов при эксплуатации скважин ООО «РН-Пурнефтегаз» с высоким входным газо-содержанием. Сравнение стендовых и промысловых испытаний / А. Дроздов [и др.] // SPE 117415. — 2005.
6. *Perkins, T.* Critical and Sub-Critical Flow of Multiphase Mixtures Through Chokes / T. Perkins // SPE 20633, SPE Drilling and Completion. — 1993.
7. *Brown, K.* The Technology of Artificial Lift Methods. Volume 4. Production Optimization of Oil and Gas Wells by Nodal System Analysis / K. Brown. — PennWell, 1984. — 464 p.
8. Оценка забойного давления механизированной скважины: теория и опыт применения / М. Хасанов [и др.] // Научно-технический вестник ОАО НК Рос-нефть. — 2006. — Февр.

Приложение А

Автоматически сгенерированное описание

Далее следует описание расчетных функций Unifloc 7.9 VBAавтоматически 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 crv_interpolation

```
' функция поиска значения функции по заданным табличным данным
↪ (интерполяция)
Public Function crv_interpolation(x_points, y_points, x_val, _
                                Optional ByVal type_interpolation As Integer =
                                ↪ 0)
' x_points - таблица аргументов функции
' y_points - таблица значений функции
'
'           количество аргументов и значений функции должно совпадать
'           для табличной функции одному аргументу соответствует
'           строго одно значение функции (последнее)
' x_val     - аргумент для которого надо найти значение
'
'           одно значение в ячейке или диапазон значений
'           для диапазона аргументов будет найден диапазон значений
'           диапазоны могут быть заданы как в строках,
'           так и в столбцах
' type_interpolation - тип интерполяции
'
'           0 - линейная интерполяция
'           1 - кубическая интерполяция
'           2 - интерполяция Акима (выбросы)
'
'           https://en.wikipedia.org/wiki/Akima\_spline
'           3 - кубический сплай Катмулла Рома
'
' ↪ https://en.wikipedia.org/wiki/Cubic\_Hermite\_spline
' результат
'
'           значение функции для заданного x_val
```

A.2 crv_intersection

```
' поиск пересечений для кривых заданных таблицами
' используется линейная интерполяция
' возможно несколько решений
Public Function crv_intersection(x1_points, y1_points, _
                                x2_points, y2_points)
' x1_points - таблица аргументов функции 1
```



```

' y1_points - таблица значений функции 1
'
'           количество аргументов и значений функции должно совпадать
'           для табличной функции одному аргументу соответствует
'           строго одно значение функции (последнее)
' x2_points - таблица аргументов функции 2
' y2_points - таблица значений функции 2
'
'           количество аргументов и значений функции должно совпадать
'           для табличной функции одному аргументу соответствует
'           строго одно значение функции (последнее)
' результат
'
'           массив значений аргументов пересечений двух функций

```

A.3 crv_solve

```

' функция решения уравнения в табличном виде  $f(x) = y\_val$ 
' ищется значение аргумента соответствующее заданному значению
' используется линейная интерполяция
' возможно несколько решений
Public Function crv_solve(x_points, y_points, ByVal y_val As Double)
' x_points - таблица аргументов функции
' y_points - таблица значений функции
'
'           количество аргументов и значений функции должно совпадать
'           для табличной функции одному аргументу соответствует
'           строго одно значение функции (последнее)
' y_val - значение функции для которого надо ищутся аргументы
'
'           строго одно вещественное число (ссылка на ячейку)
' результат
'
'           массив значений аргументов - решений уравнения

```

A.4 ESP_decode_string

```

' функция расшифровки параметров работы ЭЦН закодированных в строке
Public Function ESP_decode_string(ByVal ESPstr As String, _
                                Optional ByVal getStr As Boolean = False)
' ESPstr - строка с параметрами ЭЦН
' getStr - флаг проверки работы функции
' по умолчанию False (0) - функция выдает объект CESPsystemSimple
' если задать True - функция раскодирует строку и снова закодирует
' и выдаст строку (можно использовать из листа)
' результат - объект CESPsystemSimple

```

A.5 ESP_dp_atm

```

' функция расчета перепада давления ЭЦН в рабочих условиях
Public Function ESP_dp_atm( _
    ByVal qliq_sm3day As Double, _
    ByVal fw_perc As Double, _
    ByVal p_atma As Double, _
    Optional ByVal num_stages As Integer = 1, _
    Optional ByVal freq_Hz As Double = 50, _
    Optional ByVal pump_id = 674, _
    Optional ByVal PVTstr As String = PVT_DEFAULT, _
    Optional ByVal t_intake_C As Double = 50, _
    Optional ByVal Tdis_C As Double = 50, _
    Optional ByVal CalcFromIntake As Boolean = 1, _
    Optional ByVal GasDegtType As Integer = 0, _
    Optional ByVal Kdegr As Double = 0)
' qliq_sm3day - дебит жидкости на поверхности
' fw_perc - обводненность
' p_atma - давление для которого делается расчет
' либо давление на приеме насоса
' либо давление на выкиде насоса
' определяется параметром CalcFromIntake
' num_stages - количество ступеней
' freq_Hz - частота вращения вала ЭЦН, Гц
' pump_id - идентификатор насоса
' PVTstr - набор данных PVT
' t_intake_C - температура на приеме насоа
' Tdis_C - температура на выкиде насоса.

```

```

'           если = 0 и CalcFromIntake = 1 то рассчитывается
' CalcFromIntake - режим расчета снизу вверх или сверху вниз
'           CalcFromIntake = True => p_atma давление на приеме
'           CalcFromIntake = False => p_atma давление на выкиде
' GasDegtType - тип насоса по работе с газом
'           GasDegtType = 0 нет коррекции
'           GasDegtType = 1 стандартный ЭЦН (предел 25%)
'           GasDegtType = 2 ЭЦН с газостабилизирующим модулем (предел 50%)
'           GasDegtType = 3 ЭЦН с осевым модулем (предел 75%)
'           GasDegtType = 4 ЭЦН с модифицированным ступенями (предел 40%)
'           предел по доле газа на входе в насос после сепарации
'           на основе статьи SPE 117414 (с корректировкой)
'           поправка дополнительная к деградации (суммируется)
' Kdegr - коэффициент деградации напора
' результат - массив значений включающий
'           перепад давления
'           перепад температур
'           мощность потребляемая с вала, Вт
'           мощность гидравлическая по перекачке жидкости, Вт
'           КПД ЭЦН

```

A.6 ESP_eff_fr

```

' номинальный КПД ЭЦН (на основе каталога ЭЦН)
' учитывается поправка на вязкость
Public Function ESP_eff_fr( _
    ByVal qliq_m3day As Double, _
    Optional ByVal num_stages As Integer = 1, _
    Optional ByVal freq_Hz As Double = 50, _
    Optional ByVal pump_id = 674, _
    Optional ByVal mu_cSt As Double = -1) As Double
' qliq_m3day - дебит жидкости в условиях насоса (стенд)
' num_stages - количество ступеней
' freq_Hz - частота вращения насоса
' pump_id - номер насоса в базе данных
' mu_cSt - вязкость жидкости

```

A.7 ESP_encode_string

```
' функция кодирования параметров работы УЭЦН в строку,
' которую можно потом использовать для задания ЭЦН в прикладных
↪ функциях
Public Function ESP_encode_string( _
    Optional ByVal esp_ID As Double = 1005, _
    Optional ByVal HeadNom_m As Double = 2000, _
    Optional ByVal ESPfreq_Hz As Double = 50, _
    Optional ByVal ESP_U_V As Double = 1000, _
    Optional ByVal MotorPowerNom_kW As Double = 30, _
    Optional ByVal Tintake_C As Double = 85, _
    Optional ByVal Tdis_C As Double = 85, _
    Optional ByVal KsepGS_fr As Double = 0, _
    Optional ByVal ESP_energy_fact_Whday As Double = 0,
    ↪ _
    Optional ByVal ESP_cable_type As Double = 0, _
    Optional ByVal ESP_Hmes_m As Double = 0, _
    Optional ByVal GasDegtType As Integer = 0, _
    Optional ByVal Kdegr As Double = 0, _
    Optional ByVal PKV_work_min = -1, _
    Optional ByVal PKV_stop_min = -1 _
)

' pump_id           - идентификатор насоса
' HeadNom_m         - номинальный напор системы УЭЦН
'                   - соответствует напора в записи ЭЦН 50-2000
' ESPfreq_Hz        - частота, Гц
' ESP_U_V           - напряжение на ПЭД
' ESP_Motor_power_nom_kW - номинальная мощность двигателя
' t_intake_C        - температура на приеме насоса
' Tdis_C            - температура на выкиде насоса.
'                   - если = 0 и CalcFromIntake = 1 то рассчитывается
' KsepGS_fr         - коэффициент сепарации газосепаратора УЭЦН
' ESP_energy_fact_Whday - фактическое потребление мощности ЭЦН
' ESP_cable_type    - тип кабельной линии
'                   - тип 1: cable_R_Omkm = 1.18
'                   - cable_name = "КПпАпБП-120 3x16"
'                   - cable_Tmax_C = 120
' ESP_Hmes_m        - длина кабельной линии
' GasDegtType       - тип насоса по работе с газом
'                   - GasDegtType = 0 нет коррекции
'                   - GasDegtType = 1 стандартный ЭЦН (предел 25%)
```

```

'      GasDegtType = 2 ЭЦН с газостабилизирующим модулем (предел 50%)
'      GasDegtType = 3 ЭЦН с осевым модулем (предел 75%)
'      GasDegtType = 4 ЭЦН с модифицированным ступенями (предел 40%)
'      предел по доле газа на входе в насос после сепарации
'      на основе статьи SPE 117414 (с корректировкой)
'      поправка дополнительная к деградации (суммируется)
' Kdegr          - коэффициент деградации напора
' PKV_work_min   - время работы скважины для режима ПКВ в минутах
' PKV_stop_min   - время ожидания запуска скважины для ПКВ , мин
'               ПКВ - периодическое кратковременное включение
'               если не заданы, то скважина в ПДФ
'               ПДФ - постоянно действующий фонд
' результат      - строка с параметрами УЭЦН

```

A.8 ESP_head_m

```

' номинальный напор ЭЦН (на основе каталога ЭЦН)
' учитывается поправка на вязкость
Public Function ESP_head_m( _
    ByVal qliq_m3day As Double, _
    Optional ByVal num_stages As Integer = 1, _
    Optional ByVal freq_Hz As Double = 50, _
    Optional ByVal pump_id = 674, _
    Optional ByVal mu_cSt As Double = -1) As Double
' qliq_m3day - дебит жидкости в условиях насоса (стенд)
' num_stages - количество ступеней
' freq_Hz     - частота вращения насоса
' pump_id     - номер насоса в базе данных
' mu_cSt      - вязкость жидкости

```

A.9 ESP_id_by_rate

```
' функция возвращает идентификатор типового насоса по значению
' номинального дебита
Public Function ESP_id_by_rate(Q As Double)
' возвращает ID в зависимости от диапазона дебитов
' насосы подобраны вручную из текущей базы
' функция нужна для удобства использования
' непосредственно в Excel для тестовых заданий и учебных примеров
    If Q > 0 And Q < 20 Then ESP_id_by_rate = 738: ' ВНН5-15
    If Q >= 20 And Q < 40 Then ESP_id_by_rate = 740: ' ВНН5-30
    If Q >= 40 And Q < 60 Then ESP_id_by_rate = 1005: ' ВНН5-50
    If Q >= 60 And Q < 100 Then ESP_id_by_rate = 1006: ' ВНН5-80
    If Q >= 100 And Q < 150 Then ESP_id_by_rate = 737: ' ВНН5-125
    If Q >= 150 And Q < 250 Then ESP_id_by_rate = 1010: ' ЭЦН5А-200
    If Q >= 250 And Q < 350 Then ESP_id_by_rate = 1033: ' ЭЦН5А-320Э
    If Q >= 350 And Q < 600 Then ESP_id_by_rate = 753: ' ВНН5А-500
    If Q >= 600 And Q < 800 Then ESP_id_by_rate = 754: ' ВНН5А-700
    If Q >= 800 And Q < 1200 Then ESP_id_by_rate = 755: ' ВНН6-1000
    If Q > 1200 Then ESP_id_by_rate = 264
End Function
```

A.10 ESP_max_rate_m3day

```
' максимальный дебит ЭЦН для заданной частоты
' по номинальной кривой РНХ
Public Function ESP_max_rate_m3day( _
    Optional ByVal freq_Hz As Double = 50, _
    Optional ByVal pump_id = 674) As Double
' freq_Hz - частота вращения ЭЦН
' pump_id - идентификатор насоса в базе данных
```

A.11 ESP_name

```
' название ЭЦН по номеру
Public Function ESP_name(Optional ByVal pump_id = 674) As String
' pump_id      - идентификатор насоса в базе данных
' результат - название насоса
```

A.12 ESP_optRate_m3day

```
' оптимальный дебит ЭЦН для заданной частоты
' по номинальной кривой РНХ
Public Function ESP_optRate_m3day( _
    Optional ByVal freq_Hz As Double = 50, _
    Optional ByVal pump_id = 674) As Double
' freq_Hz      - частота вращения ЭЦН
' pump_id      - идентификатор насоса в базе данных
```

A.13 ESP_power_W

```
' номинальная мощность потребляемая ЭЦН с вала (на основе каталога ЭЦН)
' учитывается поправка на вязкость
Public Function ESP_power_W( _
    ByVal qliq_m3day As Double, _
    Optional ByVal num_stages As Integer = 1, _
    Optional ByVal freq_Hz As Double = 50, _
    Optional ByVal pump_id = 674, _
    Optional ByVal mu_cSt As Double = -1) As Double
' мощность УЭЦН номинальная потребляемая
' qliq_m3day - дебит жидкости в условиях насоса (стенд)
' num_stages - количество ступеней
' freq_Hz      - частота вращения насоса
```

```
' pump_id      - номер насоса в базе данных
' mu_cSt       - вязкость жидкости
```

A.14 ESP_system_calc

```
' расчет производительности системы УЭЦН
' считает перепад давления, электрические параметры и деградацию КПД
Public Function ESP_system_calc( _
    ByVal qliq_sm3day As Double, _
    ByVal fw_perc As Double, _
    ByVal p_atma As Double, _
    Optional ByVal PVTstr As String, _
    Optional ByVal ESPstr As String, _
    Optional ByVal CalcFromIntake As Boolean = 1 _
)
' qliq_sm3day      - дебит жидкости на поверхности
' fw_perc          - обводненность
' p_atma           - давление для которого делается расчет
'                  либо давление на приеме насоса
'                  либо давление на выкиде насоса
'                  определяется параметром CalcFromIntake
' PVTstr           - набор данных PVT
' ESPstr           - набор данных ЭЦН
' CalcFromIntake   - режим расчета снизу вверх или сверху вниз
'                  CalcFromIntake = True => p_atma давление на приеме
'                  CalcFromIntake = False => p_atma давление на выкиде
' результат       - массив значений включающий
'                  перепад давления
'                  перепад температур
'                  мощность потребляемая с вала, Вт
'                  мощность гидравлическая по перекачке жидкости, Вт
'                  КПД ЭЦН
'                  список неполон
```


A.15 IPR_pi_sm3dayatm

```
' расчет коэффициента продуктивности пласта
' по данным тестовой эксплуатации
Public Function IPR_pi_sm3dayatm( _
    ByVal Qtest_sm3day As Double, _
    ByVal Pwfptest_atma As Double, _
    ByVal Pres_atma As Double, _
    Optional ByVal fw_perc As Double = 0, _
    Optional ByVal pb_atma As Double = -1)
' Qtest_sm3day    - тестовый дебит скважины
' Pwfptest_atma   - тестовое забойное давление
' Pres_atma       - пластовое давление, атм
' необязательные параметры
' fw_perc         - обводненность
' pb_atma         - давление насыщения
```

A.16 IPR_pwf_atma

```
' расчет забойного давления по дебиту и продуктивности
Public Function IPR_pwf_atma( _
    ByVal pi_sm3dayatm As Double, _
    ByVal Pres_atma As Double, _
    ByVal qliq_sm3day As Double, _
    Optional ByVal fw_perc As Double = 0, _
    Optional ByVal pb_atma As Double = -1)
' pi_sm3dayatm    - коэффициент продуктивности
' Pres_atma       - пластовое давление, атм
' qliq_sm3day     - дебит жидкости скважины на поверхности
' необязательные параметры
' fw_perc         - обводненность
' pb_atma         - давление насыщения
```

A.17 IPR_qliq_sm3day

```
' расчет дебита по давлению и продуктивности
Public Function IPR_qliq_sm3day( _
    ByVal pi_sm3dayatm As Double, _
    ByVal Pres_atma As Double, _
    ByVal pwf_atma As Double, _
    Optional ByVal fw_perc As Double = 0, _
    Optional ByVal pb_atma As Double = -1)
'
' pi_sm3dayatm    - коэффициент продуктивности
' Pres_atma       - пластовое давление, атм
' pwf_atma        - забойное давление
'
' необязательные параметры
' fw_perc         - обводненность
' pb_atma         - давление насыщения
```

A.18 MF_cf_choke_fr

```
' расчет корректирующего фактора модели штуцера под замеры
Public Function MF_cf_choke_fr( _
    ByVal qliq_sm3day As Double, _
    ByVal fw_perc As Double, _
    ByVal dchoke_mm As Double, _
    Optional ByVal p_in_atma As Double = -1, _
    Optional ByVal p_out_atma As Double = -1, _
    Optional ByVal d_pipe_mm As Double = 70, _
    Optional ByVal Tchoke_C As Double = 20, _
    Optional ByVal PVTstr As String = PVT_DEFAULT _
)
' qliq_sm3day     - дебит жидкости в пов условиях
' fw_perc         - обводненность
' dchoke_mm       - диаметр штуцера (эффективный)
' опциональные аргументы функции
' p_intake_atma   - давление на входе (высокой стороне)
```

```
' p_out_atma      - давление на выходе (низкой стороне)
' d_pipe_mm       - диаметр трубы до и после штуцера
' Tchoke_C        - температура, С.
' PVTstr          - закодированная строка с параметрами PVT.
'                - если задана - перекрывает другие значения
' результат       - число - давления на штуцере на расчетной стороне.
```

A.19 MF_CJT_Katm

```
' функция расчета коэффициента Джоуля Томсона
Public Function MF_CJT_Katm( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    Optional ByVal PVTstr As String = PVT_DEFAULT, _
    Optional ByVal qliq_sm3day As Double = 10, _
    Optional ByVal fw_perc As Double = 0)
' обязательные аргументы функции
' p_atma      - давление, атм
' T_C        - температура, С.
' опциональные аргументы функции
' PVTstr      - encoded to string PVT properties of fluid
' qliq_sm3day - liquid rate (at surface)
' fw_perc     - water fraction (watercut)
' output     - number
```

A.20 MF_dpdl_atmm

```
'расчет градиента давления
'с использованием многофазных корреляций
Public Function MF_dpdl_atmm(ByVal d_m As Double, _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal Ql_rc_m3day As Double, _
    ByVal Qg_rc_m3day As Double, _
```

```

Optional ByVal mu_oil_cP As Double = const_mu_o, _
Optional ByVal mu_gas_cP As Double = const_mu_g, _
Optional ByVal sigma_oil_gas_Nm As Double = const_sigma_oil_Nm, _
Optional ByVal gamma_oil As Double = const_go, _
Optional ByVal gamma_gas As Double = const_gg, _
Optional ByVal eps_m As Double = 0.0001, _
Optional ByVal theta_deg As Double = 90, _
Optional ByVal ZNLF As Boolean = False)
' расчет градиента давления по одной из корреляций
' объемные коэффициенты по умолчанию
' заданы равными единицам - если их не трогать,
' значит дебиты в рабочих условиях
' газосодержание равно нулю по умолчанию
' - значит весь газ который указан идет в потоке
' пока только для Ансари - потом можно
' распространить и на другие методы
' d_m - диаметр трубы в которой идет поток
' p_atma - давление в точке расчета
' Ql_rc_m3day - дебит жидкости в рабочих условиях
' Qg_rc_m3day - дебит газа в рабочих условиях
' mu_oil_cP - вязкость нефти в рабочих условиях
' mu_gas_cP - вязкость газа в рабочих условиях
' sigma_oil_gas_Nm - поверхностное натяжение
'
'           жидкость газ
' gamma_oil - удельная плотность нефти
' gamma_gas - удельная плотность газа
' eps_m      - шероховатость
' theta_deg - угол от горизонтали
' ZNLF      - флаг для расчета барботажа

```

A.21 MF_dp_choke_atm

```

' Расчет перепада давления в штуцере (по потоку)
Public Function MF_dp_choke_atm( _
    ByVal qliq_sm3day As Double, _
    ByVal fw_perc As Double, _
    ByVal dchoke_mm As Double, _
    Optional ByVal pcalc_atma As Double = -1, _

```

```

        Optional ByVal calc_along_flow As Boolean = True, _
        Optional ByVal d_pipe_mm As Double = 70, _
        Optional ByVal Tchoke_C As Double = 20, _
        Optional ByVal cfChoke As Double = 0, _
        Optional ByVal PVTstr As String = PVT_DEFAULT _
    )
' qliq_sm3day      - дебит жидкости в пов условиях
' fw_perc         - обводненность
' dchoke_mm       - диаметр штуцера (эффективный)
' опциональные аргументы функции
' Pcalc_atma      - давление с которого начинается расчет, атм
'                  граничное значение для проведения расчета
'                  либо давление на входе, либо на выходе
' calc_along_flow - флаг направления расчета относительно потока
'                  если = True то расчет по потоку
'                  ищется давление на выкиде по известному давлению на входе,
'                  ищется линейное давление по известному буферному
'                  если = False то расчет против потока
'                  ищется давление на входе по известному давлению на выходе,
'                  ищется буферное давление по известному линейному
' d_pipe_mm       - диаметр трубы до и после штуцера
' Tchoke_C        - температура, С.
' cfChoke         - поправочный коэффициент на штуцер
'                  0 - отсутствие поправки
'                  dPchoke_real = (1-cfChoke)*dPchoke_model
' PVTstr          - закодированная строка с параметрами PVT.
'                  если задана - перекрывает другие значения
' результат       - число - давления на штуцере на расчетной стороне.
'                  двухмерный массив с расширенным набором параметров
'                  и подписей к параметрам

```

A.22 MF_dp_pipe_atm

```

' расчет перепада давления и распределения температуры в трубе
' с использованием многофазных корреляций
Public Function MF_dp_pipe_atm( _
    ByVal qliq_sm3day 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
' qliq_sm3day -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
'
'               BeggsBrill = 0
'
'               Ansari = 1
'
'               Unified = 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
' результат  - число - перепад давления в трубе.

```

A.23 MF_gasseparator_name

```

' название газосепаратора
Public Function MF_gasseparator_name( _
    ByVal gsep_type_TYPE As Integer)
' MY_SEPFACOR - Вычисление коэффициента сепрации в точке
' gsep_type_TYPE - тип сепаратора (номер от 1 до 29)
' 1 - 'GDNK5'
' 2 - 'VGSA (VORTEX)'
' 3 - 'GDNK5A'
' 4 - 'GSA5-1'
' 5 - 'GSA5-3'
' 6 - 'GSA5-4'
' 7 - 'GSAN-5A'
' 8 - 'GSD-5A'
' 9 - 'GSD5'
' 10 - '3MNGB5'
' 11 - '3MNGB5A'
' 12 - '3MNGDB5'
' 13 - '3MNGDB5A'
' 14 - 'MNGSL5A-M'
' 15 - 'MNGSL5A-TM'
' 16 - 'MNGSL5-M'
' 17 - 'MNGSL5-TM'
' 18 - 'MNGSLM 5'
' 19 - 'MNGD 5'
' 20 - 'GSIK 5A'
' 21 - '338DSR'
' 22 - '400GSR'
' 23 - '400GSV'
' 24 - '400GSVHV'
' 25 - '538 GSR'
' 26 - '538 GSVHV'

```

```
' 27 - '400FSR(OLD) '
' 28 - '513GRS(OLD) '
' 29 - '675HRS'
```

A.24 MF_gas_fraction_d

```
' расчет доли газа в потоке
Public Function MF_gas_fraction_d( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    Optional ByVal fw_perc = 0, _
    Optional ByVal PVTstr As String = PVT_DEFAULT _
)

' обязательные аргументы функции
' p_atma - давление, атм
' T_C - температура, С.
' опциональные аргументы функции
' fw_perc - обводненность объемная
' PVTstr - закодированная строка с параметрами PVT.
' если задана - перекрывает другие значения
' результат - число - доля газа в потоке
' (расходная без проскальзывания)
```

A.25 MF_ksep_gasseparator_d

```
' расчет коэффициента сепарации газосепаратора
' по результатам стендовых испытаний РГУ нефти и газа
Public Function MF_ksep_gasseparator_d( _
    ByVal gsep_type_TYPE As Integer, _
    ByVal gas_frac_d As Double, _
    ByVal qliq_sm3day As Double, _
    Optional ByVal freq_Hz As Double = 50) As Double
' MY_SEPFACOR - Вычисление коэффициента сепарации в точке
```



```

'   gsep_type_TYPE      - тип сепаратора (номер от 1 до 29)
'   1 - 'GDNK5'
'   2 - 'VGSA (VORTEX) '
'   3 - 'GDNK5A'
'   4 - 'GSA5-1'
'   5 - 'GSA5-3'
'   6 - 'GSA5-4'
'   7 - 'GSAN-5A'
'   8 - 'GSD-5A'
'   9 - 'GSD5'
'  10 - '3MNGB5'
'  11 - '3MNGB5A'
'  12 - '3MNGDB5'
'  13 - '3MNGDB5A'
'  14 - 'MNGSL5A-M'
'  15 - 'MNGSL5A-TM'
'  16 - 'MNGSL5-M'
'  17 - 'MNGSL5-TM'
'  18 - 'MNGSLM 5'
'  19 - 'MNGD 5'
'  20 - 'GSIK 5A'
'  21 - '338DSR'
'  22 - '400GSR'
'  23 - '400GSV'
'  24 - '400GSVHV'
'  25 - '538 GSR'
'  26 - '538 GSVHV'
'  27 - '400FSR(OLD) '
'  28 - '513GRS(OLD) '
'  29 - '675HRS'
'
'   gas_frac_d          - газосодержание на входе в газосепаратор
'   qliq_sm3day         - дебит жидкости в стандартных условиях
'   freq_Hz             - частота вращения, Гц

```

A.26 MF_ksep_natural_d

```
' расчет натуральной сепарации газа на приеме насоса
Public Function MF_ksep_natural_d( _
    ByVal qliq_sm3day As Double, _
    ByVal fw_perc As Double, _
    ByVal p_intake_atma As Double, _
    Optional ByVal t_intake_C As Double = 50, _
    Optional ByVal d_intake_mm As Double = 90, _
    Optional ByVal d_cas_mm As Double = 120, _
    Optional ByVal PVTstr As String = PVT_DEFAULT)
'-----
' qliq_sm3day    - дебит жидкости в поверхностных условиях
' fw_perc        - обводненность
' p_intake_atma   - давление сепарации
' t_intake_C      - температура сепарации
' d_intake_mm     - диаметр приемной сетки
' d_cas_mm        - диаметр эксплуатационной колонны
' PVTstr         - закодированная строка с параметрами PVT.
'                - если задана - перекрывает другие значения
' результат      - число - естественная сепарация
```

A.27 MF_ksep_total_d

```
' расчет общей сепарации на приеме насоса
Public Function MF_ksep_total_d( _
    ByVal SepNat As Double, _
    ByVal SepGasSep As Double)
' SepNat          - естественная сепарация
' SepGasSep       - искусственная сепарация (газосепаратор)
    MF_ksep_total_d = SepNat + (1 - SepNat) * SepGasSep
End Function
```

A.28 MF_mu_mix_cP

```
' расчет вязкости газожидкостной смеси
' для заданных термобарических условий
Public Function MF_mu_mix_cP( _
    ByVal qliq_sm3day As Double, _
    ByVal fw_perc As Double, _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "")
' обязательные аргументы функции
' qliq_sm3day - дебит жидкости на поверхности
' fw_perc      - объемная обводненность
' p_atma       - давление, атм
' T_C          - температура, С.
' опциональные аргументы функции
' PVTstr       - закодированная строка с параметрами PVT.
'              - если задана - перекрывает другие значения
' результат    - число - вязкость ГЖС, мЗ/сут.
```

A.29 MF_p_choke_atma

```
' расчет давления в штуцере
Public Function MF_p_choke_atma( _
    ByVal qliq_sm3day As Double, _
    ByVal fw_perc As Double, _
    ByVal dchoke_mm As Double, _
    Optional ByVal pcalc_atma As Double = -1, _
    Optional ByVal calc_along_flow As Boolean = True, _
    Optional ByVal d_pipe_mm As Double = 70, _
    Optional ByVal Tchoke_C As Double = 20, _
    Optional ByVal cfChoke As Double = 0, _
    Optional ByVal PVTstr As String = PVT_DEFAULT _
)
' qliq_sm3day    - дебит жидкости в пов условиях
' fw_perc        - обводненность
```

```

' dchoke_mm      - диаметр штуцера (эффективный)
' опциональные аргументы функции
' Pcalc_atma     - давление с которого начинается расчет, атм
'
'                 граничное значение для проведения расчета
'                 либо давление на входе, либо на выходе
' calc_along_flow - флаг направления расчета относительно потока
'                 если = True то расчет по потоку
'                 ищется давление на выкиде по известному давлению на входе,
'                 ищется линейное давление по известному буферному
'                 если = False то расчет против потока
'                 ищется давление на входе по известному давлению на выходе,
'                 ищется буферное давление по известному линейному
' d_pipe_mm      - диаметр трубы до и после штуцера
' Tchoke_C       - температура, С.
' cfChoke        - поправочный коэффициент на штуцер
'                 0 - отсутствие поправки
'                 dPchoke_real = (1-cfChoke)*dPchoke_model
' PVTstr         - закодированная строка с параметрами PVT.
'                 если задана - перекрывает другие значения
' результат      - число - давления на штуцере на расчетной стороне.

```

A.30 MF_p_gas_fraction_atma

```

' расчет давления при котором
' достигается заданная доля газа в потоке
Public Function MF_p_gas_fraction_atma( _
    ByVal FreeGas_d As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal fw_perc As Double, _
    Optional ByVal PVTstr As String = PVT_DEFAULT)
' 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
' результат - число - давление, атма.

```

A.31 MF_p_pipe_atma

```
' расчет давления и распределения температуры в трубе
' с использованием многофазных корреляций
Public Function MF_p_pipe_atma( _
    ByVal qliq_sm3day 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
' qliq_sm3day - 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
'              BeggsBrill = 0
'              Ansari = 1
'              Unified = 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
' результат   - число - давление на другом конце трубы atma.

```

A.32 MF_p_pipe_znlf_atma

```

' расчет давления и распределения температуры в трубе
' при барботаже (движение газа в затрубе при неподвижной жидкости)
' с использованием многофазных корреляций
Public Function MF_p_pipe_znlf_atma( _
    ByVal qliq_sm3day 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
' qliq_sm3day    - 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
'              BeggsBrill = 0
'              Ansari = 1
'              Unified = 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
' Qgas_free_scm3day - количество газа в затрубе
' результат   - число - давление на другом конце трубы atma.

```

A.33 MF_qliq_choke_sm3day

```

' функция расчета дебита жидкости через штуцер
' при заданном входном и выходном давлениях
Public Function MF_qliq_choke_sm3day( _
    ByVal fw_perc As Double, _
    ByVal dchoke_mm As Double, _
    ByVal p_in_atma As Double, _
    ByVal p_out_atma As Double, _
    Optional ByVal d_pipe_mm As Double = 70, _
    Optional ByVal Tchoke_C = 20, _
    Optional ByVal cfChoke As Double = 0, _
    Optional ByVal PVTstr As String = PVT_DEFAULT)
' fw_perc      - обводненность
' dchoke_mm    - диаметр штуцера (эффективный)
' p_intake_atma - давление на входе (высокой стороне)
' p_out_atma   - давление на выходе (низкой стороне)
' опциональные аргументы функции
' d_pipe_mm    - диаметр трубы до и после штуцера
' Tchoke_C     - температура, С.
' cfChoke      - поправочный коэффициент на штуцер
'              0 - отсутствие поправки
'              dPchoke_real = (1-cfChoke)*dPchoke_model
' PVTstr       - закодированная строка с параметрами PVT.
'              если задана - перекрывает другие значения

```

A.34 MF_q_mix_rc_m3day

```

' расчет объемного расхода газожидкостной смеси
' для заданных термобарических условий
Public Function MF_q_mix_rc_m3day( _
    ByVal qliq_sm3day As Double, _
    ByVal fw_perc As Double, _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "")

```



```

' обязательные аргументы функции
' qliq_sm3day- дебит жидкости на поверхности
' fw_perc      - объемная обводненность
' p_atma       - давление, атм
' T_C          - температура, С.
' опциональные аргументы функции
' PVTstr       - закодированная строка с параметрами PVT.
'              - если задана - перекрывает другие значения
' результат    - число - плотность ГЖС, кг/м3.

```

A.35 MF_rhomix_kgm3

```

' расчет плотности газожидкостной смеси для заданных условий
Public Function MF_rhomix_kgm3( _
    ByVal qliq_sm3day As Double, _
    ByVal fw_perc As Double, _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "")
' обязательные аргументы функции
' qliq_sm3day- дебит жидкости на поверхности
' fw_perc      - объемная обводненность
' p_atma       - давление, атм
' T_C          - температура, С.
' опциональные аргументы функции
' PVTstr       - закодированная строка с параметрами PVT.
'              - если задана - перекрывает другие значения
' результат    - число - плотность ГЖС, кг/м3.

```

A.36 MF_rp_gas_fraction_m3m3

```

' расчет газового фактора
' при котором достигается заданная доля газа в потоке
Public Function MF_rp_gas_fraction_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)
' 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
' результат  - число - газовый фактор, м3/м3.

```

A.37 motor_CosPhi_d

```

' функция расчета коэффициента мощности двигателя
Public Function motor_CosPhi_d(ByVal Pshaft_kW As Double, _
    Optional ByVal freq_Hz As Double = 50, _
    Optional ByVal U_V As Double = -1, _
    Optional ByVal Unom_V As Double = 500, _
    Optional ByVal Inom_A As Double = 10, _
    Optional ByVal Fnom_Hz As Double = 50, _
    Optional ByVal motorID As Integer = 0) As Double
' Pshaft_kW      - мощность развиваемая двигателем на валу
' опциональные параметры
' freq_Hz        - частота вращения внешнего поля
' U_V            - напряжение рабочее, линейное, В
' Unom_V         - номинальное напряжение питания двигателя, линейное, В
' Inom_A         - номинальный ток двигателя, линейный, А
' fnom_Hz        - номинальная частота вращения поля, Гц
' motorID        - тип двигателя 0 - задается по схеме замещения,
'                  1 - задается по каталожным кривым
' выход
' результат      - коэффициент мощности двигателя

```

A.38 motor_CosPhi_slip

```
' Расчет коэффициента мощности
' погружного асинхронного двигателя от проскальзывания
Public Function motor_CosPhi_slip(ByVal S As Double, _
    Optional ByVal freq_Hz As Double = 50, _
    Optional ByVal U_V As Double = -1, _
    Optional ByVal Unom_V As Double = 500, _
    Optional ByVal Inom_A As Double = 10, _
    Optional ByVal Fnom_Hz As Double = 50, _
    Optional ByVal motorID As Integer = 0) As
    Double
'
'   s           - скольжение двигателя
' опциональные параметры
'   freq_Hz      - частота вращения внешнего поля
'   U_V          - напряжение рабочее, линейное, В
'   Unom_V       - номинальное напряжение питания двигателя, линейное, В
'   Inom_A       - номинальный ток двигателя, линейный, А
'   fnom_Hz      - номинальная частота вращения поля, Гц
'   motorID      - тип двигателя 0 - задается по схеме замещения,
'                   1 - задается по каталожным кривым
'                   корректно работает, только для motorID = 0
' выход
'   результат    - коэффициент мощности cos phi
```

A.39 motor_Eff_d

```
' функция расчета КПД двигателя
Public Function motor_Eff_d(ByVal Pshaft_kW As Double, _
    Optional ByVal freq_Hz As Double = 50, _
    Optional ByVal U_V As Double = -1, _
    Optional ByVal Unom_V As Double = 500, _
    Optional ByVal Inom_A As Double = 10, _
    Optional ByVal Fnom_Hz As Double = 50, _
    Optional ByVal motorID As Integer = 0) As Double
'
'   Pshaft_kW    - мощность развиваемая двигателем на валу
```

```

' опциональные параметры
'   freq_Hz      - частота вращения внешнего поля
'   U_V          - напряжение рабочее, линейное, В
'   Unom_V       - номинальное напряжение питания двигателя, линейное, В
'   Inom_A       - номинальный ток двигателя, линейный, А
'   fnom_Hz      - номинальная частота вращения поля, Гц
'   motorID      - тип двигателя 0 - задается по схеме замещения,
'                   1 - задается по каталожным кривым
' выход
'   результат    - КПД преобразования электрической мощности
'                   в механическую

```

A.40 motor_Eff_slip

```

' Расчет КПД погружного асинхронного двигателя от проскальзывания
Public Function motor_Eff_slip(ByVal S As Double, _
                               Optional ByVal freq_Hz As Double = 50, _
                               Optional ByVal U_V As Double = -1, _
                               Optional ByVal Unom_V As Double = 500, _
                               Optional ByVal Inom_A As Double = 10, _
                               Optional ByVal Fnom_Hz As Double = 50, _
                               Optional ByVal motorID As Integer = 0) As Double
'   s              - скольжение двигателя
' опциональные параметры
'   freq_Hz      - частота вращения внешнего поля
'   U_V          - напряжение рабочее, линейное, В
'   Unom_V       - номинальное напряжение питания двигателя, линейное, В
'   Inom_A       - номинальный ток двигателя, линейный, А
'   fnom_Hz      - номинальная частота вращения поля, Гц
'   motorID      - тип двигателя 0 - задается по схеме замещения,
'                   1 - задается по каталожным кривым
'                   корректно работает, только для motorID = 0
' выход
'   результат    - КПД преобразования электрической мощности
'                   в механическую

```

A.41 motor_I_A

```
' функция расчета рабочего тока двигателя
Public Function motor_I_A(ByVal Pshaft_kW As Double, _
    Optional ByVal freq_Hz As Double = 50, _
    Optional ByVal U_V As Double = -1, _
    Optional ByVal Unom_V As Double = 500, _
    Optional ByVal Inom_A As Double = 10, _
    Optional ByVal Fnom_Hz As Double = 50, _
    Optional ByVal motorID As Integer = 0) As Double
'   Pshaft_kW      - мощность развиваемая двигателем на валу
' опциональные параметры
'   freq_Hz        - частота вращения внешнего поля
'   U_V            - напряжение рабочее, линейное, В
'   Unom_V         - номинальное напряжение питания двигателя, линейное, В
'   Inom_A         - номинальный ток двигателя, линейный, А
'   fnom_Hz        - номинальная частота вращения поля, Гц
'   motorID        - тип двигателя 0 - задается по схеме замещения,
'                   1 - задается по каталожным кривым
'   выход
'   число          - значение тока при данном режиме работы
```

A.42 motor_I_slip_A

```
' Расчет потребляемого тока
' погружного асинхронного двигателя от проскальзывания
Public Function motor_I_slip_A(ByVal S As Double, _
    Optional ByVal freq_Hz As Double = 50, _
    Optional ByVal U_V As Double = -1, _
    Optional ByVal Unom_V As Double = 500, _
    Optional ByVal Inom_A As Double = 10, _
    Optional ByVal Fnom_Hz As Double = 50, _
    Optional ByVal motorID As Integer = 0) As Double
'   s              - скольжение двигателя
' опциональные параметры
'   freq_Hz        - частота вращения внешнего поля
```

```

'   U_V           - напряжение рабочее, линейное, В
'   Unom_V        - номинальное напряжение питания двигателя, линейное, В
'   Inom_A        - номинальный ток двигателя, линейный, А
'   fnom_Hz       - номинальная частота вращения поля, Гц
'   motorID       - тип двигателя 0 - задается по схеме замещения,
'                   1 - задается по каталожным кривым
'                   корректно работает, только для motorID = 0
'   выход
'   результат     - ток

```

A.43 motor_M_Nm

```

' функция расчета момента двигателя от мощности на валу
Public Function motor_M_Nm(ByVal Pshaft_kW As Double, _
    Optional ByVal freq_Hz As Double = 50, _
    Optional ByVal U_V As Double = -1, _
    Optional ByVal Unom_V As Double = 500, _
    Optional ByVal Inom_A As Double = 10, _
    Optional ByVal Fnom_Hz As Double = 50, _
    Optional ByVal motorID As Integer = 0) As Double
' Pshaft_kW      - мощность развиваемая двигателем на валу
' опциональные параметры
'   freq_Hz      - частота вращения внешнего поля
'   U_V          - напряжение рабочее, линейное, В
'   Unom_V       - номинальное напряжение питания двигателя, линейное, В
'   Inom_A       - номинальный ток двигателя, линейный, А
'   fnom_Hz      - номинальная частота вращения поля, Гц
'   motorID      - тип двигателя 0 - задается по схеме замещения,
'                   1 - задается по каталожным кривым
'   выход
'   результат    - момент на валу двигателя

```

A.44 motor_M_slip_Nm

```
' функция расчета момента двигателя от проскальзывания
Public Function motor_M_slip_Nm(ByVal S As Double, _
                                Optional ByVal freq_Hz As Double = 50, _
                                Optional ByVal U_V As Double = -1, _
                                Optional ByVal Unom_V As Double = 500, _
                                Optional ByVal Inom_A As Double = 10, _
                                Optional ByVal Fnom_Hz As Double = 50, _
                                Optional ByVal motorID As Integer = 0) As Double
'   s           - скольжение двигателя
' опциональные параметры
'   freq_Hz     - частота вращения внешнего поля
'   U_V         - напряжение рабочее, линейное, В
'   Unom_V      - номинальное напряжение питания двигателя, линейное, В
'   Inom_A      - номинальный ток двигателя, линейный, А
'   fnom_Hz     - номинальная частота вращения поля, Гц
'   motorID     - тип двигателя 0 - задается по схеме замещения,
'                  1 - задается по каталожным кривым
'                  корректно работает, только для motorID = 0
' выход
'   результат   - значение момента двигателя при заданных частоте
'   ↪ и напряжении
```

A.45 motor_Name

```
' функция выдает название двигателя по его характеристикам
Public Function motor_Name(Optional ByVal Unom_V As Double = 500, _
                           Optional ByVal Inom_A As Double = 10, _
                           Optional ByVal Fnom_Hz As Double = 50, _
                           Optional ByVal motorID As Integer = 0)
'
' опциональные параметры
'   Unom_V      - номинальное напряжение питания двигателя, линейное, В
'   Inom_A      - номинальный ток двигателя, линейный, А
'   fnom_Hz     - номинальная частота вращения поля, Гц
```

```
'  motorID      - тип двигателя 0 - задается по схеме замещения,
'                                     1 - задается по каталожным кривым'
↪  выход
'  результат    - формальное название ПЭД
```

A.46 motor_Pnom_kW

```
' функция выдает номинальную мощность ПЭД по его характеристикам
Public Function motor_Pnom_kW(Optional ByVal Unom_V As Double = 500, _
                               Optional ByVal Inom_A As Double = 10, _
                               Optional ByVal Fnom_Hz As Double = 50, _
                               Optional ByVal motorID As Integer = 0)

' опциональные параметры
'  Unom_V      - номинальное напряжение питания двигателя, линейное, В
'  Inom_A      - номинальный ток двигателя, линейный, А
'  fnom_Hz     - номинальная частота вращения поля, Гц
'  motorID     - тип двигателя 0 - задается по схеме замещения,
'                                     1 - задается по каталожным кривым'
↪  выход
'  результат    - номинальная мощность ПЭД
```

A.47 motor_S_d

```
' функция расчета скольжения от мощности на валу
Public Function motor_S_d(ByVal Pshaft_kW As Double, _
                           Optional ByVal freq_Hz As Double = 50, _
                           Optional ByVal U_V As Double = -1, _
                           Optional ByVal Unom_V As Double = 500, _
                           Optional ByVal Inom_A As Double = 10, _
                           Optional ByVal Fnom_Hz As Double = 50, _
                           Optional ByVal motorID As Integer = 0) As Double

'  Pshaft_kW   - мощность развиваемая двигателем на валу
' опциональные параметры
```



```

'   freq_Hz      - частота вращения внешнего поля
'   U_V          - напряжение рабочее, линейное, В
'   Unom_V       - номинальное напряжение питания двигателя, линейное, В
'   Inom_A       - номинальный ток двигателя, линейный, А
'   fnom_Hz      - номинальная частота вращения поля, Гц
'   motorID      - тип двигателя 0 - задается по схеме замещения,
'                   1 - задается по каталожным кривым
'   выход
'   результат    - скольжения от мощности на валу

```

A.48 nodal_qliq_sm3day

```

' функция расчета узлового анализа системы "пласт - скважина - УЭЦН"
' по заданным параметрам пласта, скважины и УЭЦН
' определяется рабочий дебит и забойное давление
Public Function nodal_qliq_sm3day( _
    ByVal pi_sm3dayatm As Double, _
    ByVal plin_atma As Double, _
    ByVal fw_perc As Double, _
    Optional ByVal Pres_atma = 250, _
    Optional ByVal Pcas_atma As Double = 10, _
    Optional ByVal wellStr As String = WELL_DEFAULT, _
    Optional ByVal PVTstr As String = PVT_DEFAULT, _
    Optional ByVal ESPstr As String = ESP_DEFAULT, _
    Optional ByVal HydrCorr As H_CORRELATION = 0, _
    Optional ByVal ksep_fr As Double = 0, _
    Optional ByVal Kdegr_d As Double = 0, _
    Optional ByVal param_num As Integer = 23)
' исходные параметры
' pi_sm3dayatm - коэффициент продуктивности пласта
' plin_atma - линейное давление
' fw_perc - обводненность (объемная на поверхности)
' ----- опциональные параметры
' Pres_atma - пластовое давление
' Pcas_atma - затрубное давление (для определения Ндин)
' wellStr - закодированные параметры конструкции скважины
' PVTstr - закодированные параметры флюидов
' ESPstr - закодированные параметры УЭЦН

```

```

' HydrCorr - гидравлическая корреляция, H_CORRELATION
'
'           BeggsBrill = 0
'           Ansari = 1
'           Unified = 2
'           Gray = 3
'           HagedornBrown = 4
'           SakharovMokhov = 5
' ksep_fr - коэффициент сепарации.
'           если задан - то используется вместо расчетного
'           явное задание коэффициента сепарации ускоряет расчет
' Kdegr_d - коэффициент деградации УЭЦН
' param_num - параметры для вывода в качестве результата
'           если не задан выводятся все в виде массива
' ----- результаты расчета
' массив параметры работы системы "пласт - скважина - УЭЦН"

```

A.49 PVT_bg_m3m3

```

' функция расчета объемного коэффициента газа
Public Function PVT_bg_m3m3( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    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 = Standing_based, _
    Optional ByVal ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal pksep_atma = -1, _
    Optional ByVal tksep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
)
' 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
'             Standing_based = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'             McCain_based = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'             straigth_line = 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.50 PVT_bo_m3m3

```
' расчет объемного коэффициента нефти
Public Function PVT_bo_m3m3( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    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 = Standing_based, _
    Optional ByVal ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal pksep_atma = -1, _
    Optional ByVal tksep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
)

' 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
'             Standing_based = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'             McCain_based = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'             straigth_line = 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
'
' результат - число
' Возвращает значение объемного коэффициента нефти, м3/м3
' для заданных термобарических условий.
' В основе расчета корреляции PVT

```

A.51 PVT_bw_m3m3

```

' расчет объемного коэффициента воды
Public Function PVT_bw_m3m3( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    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 = Standing_based, _
    Optional ByVal ksep_fr = 0, _

```

```

Optional ByVal pksep_atma = -1, _
Optional ByVal tksep_C = -1, _
Optional ByVal PVTstr As String = "" _
)

' 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
'             Standing_based = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'             McCain_based = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'             straigth_line = 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
'
' результат - число

```

```

' функция расшифровки параметров PVT закодированных в строке
Public Function PVT_decode_string( _
    Optional ByVal PVTstr As String = PVT_DEFAULT, _
    Optional ByVal getStr As Boolean = False)
' PVTstr - строка с параметрами PVT
' getStr - флаг проверки работы функции
' по умолчанию False (0) - функция выдает объект CPVT
' если задать True - функция раскодирует строку и снова закодирует
' и выдаст строку (можно использовать из рабочей книги)
' результат - объект CPVT

```

```
' функция кодирования параметров PVT в строку,  
' которую можно потом использовать в прикладных функциях  
Public Function PVT_encode_string( _  
    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 = Standing_based, _  
    Optional ByVal ksep_fr = 0, _  
    Optional ByVal pksep_atma = -1,
```

```

Optional ByVal tksep_C = -1 _
)
' 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
'         Standing_based = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'         McCain_based = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'         straight_line = 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
'
' результат - закодированная строка

```


A.54 PVT_mu_gas_cP

```

' расчет вязкости газа
Public Function PVT_mu_gas_cP( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    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 = Standing_based, _
    Optional ByVal ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal pksep_atma = -1, _
    Optional ByVal tksep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
)

' 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
'             Standing_based = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'             McCain_based = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'             straigth_line = 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
'
' результат - число - вязкость газа
'             при заданных термобарических условиях, сП

```

A.55 PVT_mu_oil_cP

```

' расчет вязкости нефти
Public Function PVT_mu_oil_cP( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    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 = Standing_based, _
    Optional ByVal ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal pksep_atma = -1, _
    Optional ByVal tksep_C = -1, _

```

```

Optional ByVal PVTstr As String = "" _
)

' 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
'             Standing_based = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'             McCain_based = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'             straigth_line = 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
'
' результат - число - вязкость нефти
'             при заданных термобарических условиях, сП

```

A.56 PVT_mu_wat_cP

```

' расчет вязкости воды
Public Function PVT_mu_wat_cP( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    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 = Standing_based, _
    Optional ByVal ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal pksep_atma = -1, _
    Optional ByVal tksep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
)

' 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
'             Standing_based = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'             McCain_based = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'             straigth_line = 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
'
' результат - число - вязкость воды
'             при заданных термобарических условиях, сП

```

A.57 PVT_pb_atma

```

' Расчет давления насыщения
Public Function PVT_pb_atma( _
    ByVal t_C As Double, _
    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 = Standing_based, _
    Optional ByVal ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal pksep_atma = -1, _
    Optional ByVal tksep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _

```

```

)
' обязательные аргументы функции
' 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
'           Standing_based = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'           McCain_based = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'           straigth_line = 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
'
' результат - число - давление насыщения.

```

A.58 PVT_rhog_kgm3

```

' расчет плотности газа
Public Function PVT_rhog_kgm3( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    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 = Standing_based, _
    Optional ByVal ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal pksep_atma = -1, _
    Optional ByVal tksep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
)

' 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
'             Standing_based = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'             McCain_based = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'             straigth_line = 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
'
' результат - число - плотность газа
'             при заданных термобарических условиях, кг/м3.

```

A.59 PVT_rho_kgm3

```

' расчет плотности нефти
Public Function PVT_rho_kgm3( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    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 = Standing_based, _
    Optional ByVal ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal pksep_atma = -1, _
    Optional ByVal tksep_C = -1, _

```



```

Optional ByVal PVTstr As String = "" _
)

' 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
'             Standing_based = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'             McCain_based = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'             straigth_line = 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
'
' результат - число - плотность нефти
'             при заданных термобарических условиях, кг/м3.

```

A.60 PVT_rhow_kgm3

```
' расчет плотности воды
Public Function PVT_rhow_kgm3( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    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 = Standing_based, _
    Optional ByVal ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal pksep_atma = -1, _
    Optional ByVal tksep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
)

' 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
'             Standing_based = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'             McCain_based = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'             straigth_line = 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
'
' результат - число - плотность воды
'             при заданных термобарических условиях, кг/м3.

```

A.61 PVT_rs_m3m3

```

' расчет газосодержания
Public Function PVT_rs_m3m3( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    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 = Standing_based, _
    Optional ByVal ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal pksep_atma = -1, _
    Optional ByVal tksep_C = -1, _

```

```

Optional ByVal PVTstr As String = "" _
)

' 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
'             Standing_based = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'             McCain_based = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'             straigth_line = 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
'
' результат - число - газосодержание при
'             заданных термобарических условиях, м3/м3.

```

A.62 PVT_salinity_ppm

```
' расчет солености воды
Public Function PVT_salinity_ppm( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    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 = Standing_based, _
    Optional ByVal ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal pksep_atma = -1, _
    Optional ByVal tksep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
)

' 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
'             Standing_based = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'             McCain_based = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'             straigth_line = 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
'
' результат - число
' Возвращает соленость воды, ppm
' для заданных термобарических условий.

```

A.63 PVT_STliqgas_Nm

```

' расчет коэффициента поверхностного натяжения жидкость - газ
Public Function PVT_STliqgas_Nm( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    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 = Standing_based, _
    Optional ByVal ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal pksep_atma = -1, _

```

```

Optional ByVal tksep_C = -1, _
Optional ByVal PVTstr As String = "" _
)

' 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
'             Standing_based = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'             McCain_based = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'             straigth_line = 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
'
' результат - число
' Возвращает коэффициента поверхностного натяжения жидкость - газ, Нм
' для заданных термобарических условий.

```

A.64 PVT_Stoilgas_Nm

```
' расчет коэффициента поверхностного натяжения нефть - газ
Public Function PVT_Stoilgas_Nm( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    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 = Standing_based, _
    Optional ByVal ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal pksep_atma = -1, _
    Optional ByVal tksep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
)

' 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
'             Standing_based = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'             McCain_based = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'             straigth_line = 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
'
' результат - число
' Возвращает коэффициента поверхностного натяжения нефть - газ, Нм
' для заданных термобарических условий.

```

A.65 PVT_STwatgas_Nm

```

' расчет коэффициента поверхностного натяжения вода - газ
Public Function PVT_STwatgas_Nm( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    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 = Standing_based, _
    Optional ByVal ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal pksep_atma = -1, _

```

```

Optional ByVal tksep_C = -1, _
Optional ByVal PVTstr As String = "" _
)

' 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
'           Standing_based = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'           McCain_based = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'           straigth_line = 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
'
' результат - число
' Возвращает коэффициента поверхностного натяжения вода - газ, Нм
' для заданных термобарических условий.

```

A.66 PVT_z

```

' расчет коэффициента сверхсжимаемости газа
Public Function PVT_z( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    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 = Standing_based, _
    Optional ByVal ksep_fr = 0, _
    Optional ByVal pksep_atma = -1, _
    Optional ByVal tksep_C = -1, _
    Optional ByVal PVTstr As String = "" _
)

' 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
'             Standing_based = 0 - на основе кор-ии Стендинга
'             McCain_based = 1 - на основе кор-ии Маккейна
'             straigth_line = 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
'
' результат - число - z фактор газа.
'             коэффициент сжимаемости газа,
'             безразмерная величина

```

A.67 wellGL_decode_string

```

' функция расшифровки параметров работы
' газлифтной скважины закодированных в строке
Public Function wellGL_decode_string(well_GL_str As String, Optional
    ↪ ByVal getStr As Boolean = False)
' well_GL_str - строка с параметрами газлифтной скважины
' getStr - флаг проверки работы функции
'             по умолчанию False (0) - функция выдает объект CESPsystemSimple
'             если задать True - функция раскодирует строку и снова закодирует
'                               и выдаст строку (можно использовать из листа)
' результат - объект CESPsystemSimple

```

A.68 wellGL_encode_string

```
' функция кодирования параметров работы скважины с газлифтом
Public Function wellGL_encode_string( _
    Optional ByVal hperf_m As Double = 2000, _
    Optional ByVal htub_m As Double = 1800, _
    Optional ByVal udl_m As Double = 0, _
    Optional ByVal d_cas_mm As Double = 150, _
    Optional ByVal dtub_mm As Double = 72, _
    Optional ByVal dchoke_mm As Double = 15, _
    Optional ByVal roughness_m As Double = 0.0001, _
    Optional ByVal tbh_C As Double = 85, _
    Optional ByVal twh_C As Double = 25, _
    Optional HmesGLV_m = 0, _
    Optional dGLV_mm = 0, _
    Optional PsurfGLV_atma = 0)

' hperf_m      - измеренная глубина верхних дыр перфорации
'              - глубина пласта на которой рассчитывается
'              - забойное давление
' hpump_m      - измеренная глубина спуска насоса
' udl_m        - удлинение
'              - разница между измеренной и вертикальной
'              - глубиной пласта
' d_cas_mm     - внутренний диаметр эксплуатационной колонны
' dtub_mm      - внешний диаметр НКТ
' dchoke_mm    - диаметр штуцера
' roughness_m  - шероховатость стенок НКТ и ЭК
' tbh_C        - температура флюида на забое скважины
' twh_C        - температура флюида на устье скважины
'              - по умолчанию температурный расчет идет
'              - таким образом, что температура флюида меняется
'              - линейно относительно вертикальной глубины
' результат    - строка с закодированными параметрами
```

A.69 well_calcKdegr_fr

```
' функция адаптации модели скважины по данным эксплуатации
' подбирает коэффициента деградации УЭЦН и штуцера
' по замера на поверхности и на забое/приеме насоса
Public Function well_calcKdegr_fr( _
    ByVal q_m3day As Double, _
    ByVal fw_perc As Double, _
    ByVal Pdown_atma As Double, _
    ByVal pbuf_atma As Double, _
    Optional Pdown_at_intake As Boolean = False, _
    Optional ByVal plin_atma As Double = -1, _
    Optional ByVal Pcas_atma As Double = -1, _
    Optional ByVal wellStr As String = WELL_DEFAULT, _
    Optional ByVal PVTstr As String = PVT_DEFAULT, _
    Optional ByVal ESPstr As String = ESP_DEFAULT, _
    Optional ByVal HydrCorr As H_CORRELATION = 0, _
    Optional ByVal ksep_fr As Double = -1, _
    Optional ByVal Kdegr_d As Double = 0, _
    Optional ByVal param_num As Integer = 0)

' исходные параметры
' q_m3day      - дебит жидкости, на поверхности
' fw_perc      - обводненность (объемная на поверхности)
' Pdown_atma   - давление ниже насоса (внизу) для расчета
'               либо забойное давление (по умолчанию)
'               либо давление на приеме
'               определяется опциональным параметром Pdown_at_intake
' pbuf_atma    - буферное давление
' ----- опциональные параметры
' Pdown_at_intake - флаг определяет точку расчета давления
'                  ниже насоса. По умолчанию забойное
' plin_atma    - линейное давление
'                  если не задано штуцер не учитывается
' Pcas_atma    - затрубное давление
'                  если не задано динамический уровень не рассчитывается
' wellStr      - закодированные параметры конструкции скважины
' PVTstr       - закодированные параметры флюидов
' ESPstr       - закодированные параметры УЭЦН
' HydrCorr     - гидравлическая корреляция, H_CORRELATION
'               BeggsBrill = 0
'               Ansari = 1
'               Unified = 2
```

```

'          Gray = 3
'          HagedornBrown = 4
'          SakharovMokhov = 5
' ksep_fr - коэффициент сепарации.
'          если задан - то используется вместо расчетного
'          явное задание коэффициента сепарации ускоряет расчет
' Kdegr_d - коэффициент деградации УЭЦН
' param_num - параметры для вывода в качестве результата
'          если не задан выводятся все в виде массива
' ----- результаты расчета
' массив параметры работы системы "пласт - скважина - УЭЦН"

```

A.70 well_decode_string

```

' функция расшифровки параметров конструкции скважины
' закодированных в строке
Public Function well_decode_string(ByVal wellStr As String, _
                                Optional ByVal getStr As Boolean = False)
' wellStr - строка с параметрами конструкции скважины
' getStr - флаг проверки работы функции
'          по умолчанию False (0) - функция выдает объект CWellESP
'          если задать True - функция раскодирует строку и снова кодирует
'          и выдаст строку (можно использовать из листа)
' результат - объект CWellESP

```

A.71 well_encode_string

```

' функция кодирования параметров конструкции скважины
' в строку, которую можно потом использовать
Public Function well_encode_string( _
                                Optional ByVal hperf_m As Double = 2000, _
                                Optional ByVal hpump_m As Double = 1800, _
                                Optional ByVal udl_m As Double = 0, _

```

```

Optional ByVal d_cas_mm As Double = 150, _
Optional ByVal dtub_mm As Double = 72, _
Optional ByVal dchoke_mm As Double = 15, _
Optional ByVal roughness_m As Double = 0.0001, _
Optional ByVal tbh_C As Double = 85, _
Optional ByVal twh_C As Double = 25)

' hperf_m      - измеренная глубина верхних дыр перфорации
'              - глубина пласта на которой рассчитывается
'              - забойное давление
' hpump_m      - измеренная глубина спуска насоса
' udl_m        - удлинение
'              - разница между измеренной и вертикальной
'              - глубиной пласта
' d_cas_mm     - внутренний диаметр эксплуатационной колонны
' dtub_mm      - внешний диаметр НКТ
' dchoke_mm    - диаметр штуцера
' roughness_m  - шероховатость стенок НКТ и ЭК
' tbh_C        - температура флюида на забое скважины
' twh_C        - температура флюида на устье скважины
'              - по умолчанию температурный расчет идет
'              - таким образом, что температура флюида меняется
'              - линейно относительно вертикальной глубины
' результат    - строка с закодированными параметрами

```

A.72 well_Pintake_pwf_atma

```

' функция расчета давления на приеме по забойному для скважины
' расчет снизу-вверх, считает только участок ниже насоса
Public Function well_pintake_pwf_atma( _
    ByVal q_m3day As Double, _
    ByVal fw_perc As Double, _
    ByVal pwf_atma As Double, _
    Optional ByVal wellStr As String = WELL_DEFAULT, _
    Optional ByVal PVTstr As String = PVT_DEFAULT, _
    Optional ByVal HydrCorr As H_CORRELATION = 0 _
)

' исходные параметры
' q_m3day      - дебит жидкости, на поверхности

```



```

' fw_perc      - обводненность (объемная на поверхности)
' pwf_atma - забойное давление
' ----- опциональные параметры
' wellStr      - закодированные параметры конструкции скважины
' PVTstr       - закодированные параметры флюидов
' HydrCorr      - гидравлическая корреляция, H_CORRELATION
'
'               BeggsBrill = 0
'               Ansari = 1
'               Unified = 2
'               Gray = 3
'               HagedornBrown = 4
'               SakharovMokhov = 5
' ----- результаты расчета
' массив параметры работы системы "пласт - скважина - УЭЦН"

```

A.73 well_plin_pwf_atma

```

' функция расчета линейного давления по забойному для скважины
' расчет снизу-вверх, простой и быстрый расчет
Public Function well_plin_pwf_atma( _
    ByVal q_m3day As Double, _
    ByVal fw_perc As Double, _
    ByVal pwf_atma As Double, _
    Optional ByVal Pcas_atma As Double = -1, _
    Optional ByVal wellStr As String = WELL_DEFAULT, _
    Optional ByVal PVTstr As String = PVT_DEFAULT, _
    Optional ByVal ESPstr As String = ESP_DEFAULT, _
    Optional ByVal HydrCorr As H_CORRELATION = 0, _
    Optional ByVal ksep_fr As Double = 0, _
    Optional ByVal Kdegr_d As Double = 0, _
    Optional ByVal param_num As Integer = 1 _
)

' исходные параметры
' q_m3day      - дебит жидкости, на поверхности
' fw_perc      - обводненность (объемная на поверхности)
' pwf_atma     - забойное давление
' ----- опциональные параметры
' Pcas_atma    - затрубное давление

```

```

'      если не задано динамический уровень не рассчитывается
' wellStr - закодированные параметры конструкции скважины
' PVTstr - закодированные параметры флюидов
' ESPstr - закодированные параметры УЭЦН
' HydrCorr      - гидравлическая корреляция, H_CORRELATION
'                BeggsBrill = 0
'                Ansari = 1
'                Unified = 2
'                Gray = 3
'                HagedornBrown = 4
'                SakharovMokhov = 5
' ksep_fr - коэффициент сепарации.
'          если задан - то используется вместо расчетного
'          явное задание коэффициента сепарации ускоряет расчет
' Kdegr_d - коэффициент деградации УЭЦН
' param_num - параметры для вывода в качестве результата
'             на нулевой позиции выходного массива,
'             полный набор результатов выводится в виде массива
' ----- результаты расчета
' массив параметры работы системы "пласт - скважина - УЭЦН"

```

A.74 well_pwf_Hdyn_atma

```

' функция расчета забойного давления скважины по динамическому уровню
Public Function well_pwf_Hdyn_atma( _
    ByVal q_m3day As Double, _
    ByVal fw_perc As Double, _
    ByVal Pcas_atma As Double, _
    ByVal Hdyn_m As Double, _
    Optional ByVal wellStr As String = WELL_DEFAULT, _
    Optional ByVal PVTstr As String = PVT_DEFAULT, _
    Optional ByVal ESPstr As String = ESP_DEFAULT, _
    Optional ByVal HydrCorr As H_CORRELATION = 0, _
    Optional ByVal ksep_fr As Double = 0, _
    Optional ByVal Kdegr_d As Double = 0, _
    Optional ByVal param_num As Integer = 0)
' исходные параметры
' q_m3day - дебит жидкости, на поверхности

```

```

' fw_perc      - обводненность (объемная на поверхности)
' Pcas_atma    - затрубное давление
' Hdyn_m       - динамический уровень (при данном затрубном)
' ----- опциональные параметры
' wellStr      - закодированные параметры конструкции скважины
' PVTstr       - закодированные параметры флюидов
' ESPstr       - закодированные параметры УЭЦН
' HydrCorr     - гидравлическая корреляция, H_CORRELATION
'               BeggsBrill = 0
'               Ansari = 1
'               Unified = 2
'               Gray = 3
'               HagedornBrown = 4
'               SakharovMokhov = 5
' ksep_fr      - коэффициент сепарации.
'               если задан - то используется вместо расчетного
'               явное задание коэффициента сепарации ускоряет расчет
' Kdegr_d      - коэффициент деградации УЭЦН
' param_num    - параметры для вывода в качестве результата
'               если не задан выводятся все в виде массива
' ----- результаты расчета
' массив параметры работы системы "пласт - скважина - УЭЦН"

```

A.75 well_pwf_plin_atma

```

' функция расчета забойного давления по устьевому для скважины
' расчет сверху-вниз, считает быстро за счет угадывания сепарации
'               температура только линейная или по градиенту
Public Function well_pwf_plin_atma( _
    ByVal q_m3day As Double, _
    ByVal fw_perc As Double, _
    ByVal plin_atma As Double, _
    Optional ByVal Pcas_atma As Double = -1, _
    Optional ByVal wellStr As String = WELL_DEFAULT, _
    Optional ByVal PVTstr As String = PVT_DEFAULT, _
    Optional ByVal ESPstr As String = ESP_DEFAULT, _
    Optional ByVal HydrCorr As H_CORRELATION = 0, _
    Optional ByVal ksep_fr As Double = -1, _

```

```

Optional ByVal Psep_atma As Double = 40, _
Optional ByVal Tsep_C As Double = 40, _
Optional ByVal Kdegr_d As Double = 0, _
Optional ByVal param_num As Integer = 5)
' функция расчета забойного давления скважины по линейному
' на основе устьевых параметров работы скважины
' исходные параметры
' q_m3day      - дебит жидкости, на поверхности
' fw_perc      - обводненность (объемная на поверхности)
' plin_atma - линейное (устьевое) давление
' ----- опциональные параметры
' Pcas_atma - затрубное давление
'      если не задано динамический уровень не рассчитывается
' wellStr - закодированные параметры конструкции скважины
' PVTstr - закодированные параметры флюидов
' ESPStr - закодированные параметры УЭЦН
' HydrCorr      - гидравлическая корреляция, H_CORRELATION
'
'      BeggsBrill = 0
'
'      Ansari = 1
'
'      Unified = 2
'
'      Gray = 3
'
'      HagedornBrown = 4
'
'      SakharovMokhov = 5
' ksep_fr - коэффициент сепарации.
'
'      если задан - то используется вместо расчетного
'
'      явное задание коэффициента сепарации ускоряет расчет
' Psep_atma - давление сепарации
' Tsep_C - температура сепарации
'
'      при расчете сверху вниз неизвестны параметры сепарации
'
'      если задать их явно (угадать)
'
'      тогда расчет упрощается и ускоряется
' Kdegr_d - коэффициент дегградации УЭЦН
' param_num - параметры для вывода в качестве результата
'
'      если не задан выводятся все в виде массива
' ----- результаты расчета
' массив параметры работы системы "пласт - скважина - УЭЦН"

```