

На правах рукописи

Руководство пользователя

Unifloc 7 VBA

Unifloc 7.26 VBA

Внимание!!!

7.26 - переходная версия с большим количеством изменений относительно 7.25

В описании возможно наличие большого числа неточностей.

Смотрите код или используйте версию 7.25

Москва 2021

История и авторы.

Расчетные модули Unifloc 7.26 VBA развивались в различных версиях в течение длительного периода времени примерно с 2001 года. Первая версия (условно) - это расчет потенциала добычи нефти для технологического режима добывающих скважин выполненный под руководством Хасанова М.М. Форма технологического режима добычи нефти или форма расчета потенциала уже была разработана и применялось на тот момент. Но она использовала расчет забойного давления по формуле $P_{intake} = P_{cas} + \rho_o g (H_{pump} - H_{dyn})$, с постоянным значением $\rho_o = 0.86$, что давало большую погрешность на ряде скважин. В первой версии унифлок появился забойного давления по динамическому уровню по оригинальной методике [0]. Тогда же была сформирована база расчетов PVT корреляций, которая была включена в расчетные модули [0]. Эта версия широко распространилась и ее можно встретить в различных компаниях. Дальше модули развивались под различные задачи разными коллективами, и единой системы версий не существовало. Поэтому текущая система версий основана на тех проектах, в которых я принимал непосредственное участие. Вторая версия представляет собой набор расчетных модулей для анализа работы фонтанирующих скважин, анализа отжима динамического уровня [0]. Появились расчеты по разным многофазным корреляциям [0]. По названию корреляции - унифицированной **TUFFP** появилось и название unifloc (**unified flow correlation**). Третья версия появилась примерно тогда же. В ней были попытки расчета скважин с УЭЦН. С ее помощью были подготовлены работы [0]. Но эта версия расчетных модулей не получила широкого распространения в то время, хотя эти расчетные модули еще можно найти. К четвертой версии расчетов можно отнести группу расчетных модулей имеющих общее название - шаблоны применения технологий механизированной добычи [0]. Некоторые из них до сих пор применяются в компаниях. Пятая версия разрабатывалась уже в компании Газпромнефть. Это в основном расчеты газлифтного фонда скважин. и адаптация расчетных модулей для проведения инженерных расчетов в различных информационных системах [0]. Шестая версия - различные варианты расчета сделанные на основе предыдущих, но не получившие широкого распространения (расчет динамического уровня по данным эхолокации, расчета давления в паронагнетательной скважине и тому подобное). Все эти версии в основном носили прикладной характер и создавались для решения определенных задач. Седьмая, текущая версия информационной системы создавалась для задач обучения, что отличает ее от остальных. Она ориентирована как на обучение студентов ВУЗов (использовалась для проведения курсов в РГУ нефти и газа имени

И.М.Губкина, МФТИ, РЭШ), так и на обучение специалистов в ходе коротких курсов повышения квалификации. Эта версия сильно отличается от предыдущих. Исходный код переписан чуть менее чем полностью, проведен рефакторинг методик и алгоритмов, созданы два уровня API - на уровне классов и пользовательских функций, создана и развивается документация. При этом значительная часть функциональности предыдущих версий не реализована. Реализованы только базовые алгоритмы и методики. Большой вклад в развитие текущей версии внесли студенты и аспиранты кафедры РиЭНМ РГУ нефти и газа имени И.М.Губкина. Историю развития проекта можно проследить в репозитории на гитхабе.

Авторы Unifloc 7.26 VBA

- Хабибуллин Ринат
- Краснов Виталий
- Горидько Кирилл
- Халиков Руслан
- Водопьян Алексей
- Киян Артем
- Кобзарь Олег
- Шабонас Артур
- Полешко Михаил

Оглавление

	Стр.
Введение	10
Глава 1. Макросы VBA для проведения расчётов	11
1.1 Работа с VBA	11
1.1.1 Ручной запуск надстройки	11
1.1.2 Установка надстройки для автоматического запуска	12
1.1.3 Редактор VBE	13
1.1.4 Некоторые особенности VBA	13
1.2 Соглашения по названию функций и переменных Unifloc 7.26 VBA	14
1.3 Строковые переменные и параметры	15
1.3.1 Строковая переменная - словарь	15
1.3.2 Строковая переменная - массив	15
1.4 Модель пласт - скважина - скважинное оборудование	15
Глава 2. PVT - свойства флюидов и потока флюидов	17
2.1 Модель физико-химических свойств потока флюидов в Unifloc 7.26 VBA	17
2.1.1 Статические PVT параметры	18
2.1.2 Динамические PVT параметры	19
2.2 Выбор набора PVT корреляций	20
2.3 Стандартные условия	23
2.4 Кодирование PVT свойств в строке.	24
2.5 Преобразования потоков флюидов	26
2.5.1 PVT_mod_separate_gas – сепарация части свободного газа из потока	26
2.5.2 PVT_mod_split – разделение двух потоков флюидов	31
2.5.3 PVT_mod_mix – смешивание двух потоков флюидов	31
2.6 Соотношение некоторых свойств пластовых флюидов	31
2.6.1 PVT_pb_atma давление насыщения	35
2.6.2 PVT_rs_m3m3 – газосодержание	36

	Стр.
2.6.3 PVT_bo_m3m3 – объёмный коэффициент нефти	38
2.6.4 PVT_bg_m3m3 – объёмный коэффициент газа	40
2.6.5 PVT_bw_m3m3 – объёмный коэффициент воды	41
2.6.6 PVT_mu_oil_cP – вязкость нефти	42
2.6.7 PVT_mu_gas_cP – вязкость газа	43
2.6.8 PVT_mu_wat_cP – вязкость воды	44
2.6.9 PVT_rho_oil_kgm3 – плотность нефти	45
2.6.10 PVT_rho_gas_kgm3 – плотность газа	46
2.6.11 PVT_rho_wat_kgm3 – плотность воды	47
2.6.12 PVT_Z – коэффициент сверхсжимаемости газа	48
Глава 3. Многофазный поток в трубах, штуцере	52
3.1 Расчёт свойств потока	52
3.1.1 feed_q_mix_rc_m3day – расход газожидкостной смеси	52
3.1.2 feed_rho_mix_kgm3 – плотность газожидкостной смеси	53
3.1.3 feed_gas_fraction_d – доля газа в потоке	53
3.1.4 feed_p_gas_fraction_atma – целевое давления для заданной доли газа в потоке	54
3.1.5 feed_rp_gas_fraction_m3m3 – целевой газовый фактор для заданной доли газа в потоке	55
3.2 Сепарация газа в скважине	56
3.2.1 well_ksep_natural_d – естественная сепарация газа	57
3.2.2 well_ksep_total_d – общая сепарация газа	58
3.3 Расчёт многофазного потока в штуцере	59
3.3.1 MF_choke_p_atma – Расчет давления на входе или на выходе штуцера	63
3.3.2 MF_choke_q_sm3day – функция расчёта дебита жидкости через штуцер	64
3.3.3 MF_choke_calibr_fast – простая и быстрая функция настройки модели штуцера	65
3.3.4 MF_choke_calibr – продвинутая функция настройки модели штуцера	66
3.4 Расчет многофазного потока в трубе	68
3.4.1 MF_pipe_p_atma – функция расчета давления на конце трубы	69

	Стр.
Глава 4. Многофазный поток в пласте и призабойной зоне	70
4.1 Расчет многофазного потока в пласте	70
4.1.1 IPR_pi_sm3dayatm – расчёт продуктивности	72
4.1.2 IPR_p_wf_atma – расчёт забойного давления по дебиту и продуктивности	73
4.1.3 IPR_q_liq_sm3day – расчёт дебита по забойному давлению и продуктивности	73
Глава 5. Старые функция расчёта технологического режима добывающих скважин	75
5.1 Технологический режим добывающих скважин	75
5.1.1 old_pwf_calc_atma – расчёт забойного давления по динамическому уровню	76
5.1.2 old_pwf_calc_p_intake_atma – расчёт забойного давления по давлению на приеме	76
5.1.3 old_Prpump_calc_atma – расчёт давления на приеме по динамическому уровню	77
5.1.4 old_Potential_Pwf_atma – расчёт целевого забойного давления по доле газа	77
5.1.5 old_BB_Pwf_atma – расчёт забойного давления фонтанирующей скважины по буферному давлению	77
5.1.6 old_BB_Pwf_Pin_atma – расчёт забойного давления по давлению на приеме по корреляции Беггса-Брилла	78
Единицы измерений	80
Список сокращений и условных обозначений	81
Словарь терминов	82
Список литературы	84
Приложение А. Автоматически сгенерированное описание	88
A.1 crv_fit_linear	89
A.2 crv_fit_poly	89

	Стр.
A.3	crv_fit_spline_1D 90
A.4	crv_interpolation 91
A.5	crv_interpolation_2D 92
A.6	crv_intersection 92
A.7	crv_parametric_interpolation 93
A.8	crv_solve 94
A.9	decode_json 95
A.10	Ei 95
A.11	encode_ambient_formation_string 95
A.12	encode_ESP_cable_string 96
A.13	encode_ESP_motor_string 97
A.14	encode_ESP_pump_string 98
A.15	encode_ESP_separation_string 99
A.16	encode_feed 100
A.17	encode_json 100
A.18	encode_PVT 100
A.19	encode_t_model 101
A.20	encode_well_construction_string 102
A.21	ESP_eff_fr 103
A.22	ESP_head_m 103
A.23	ESP_id_by_rate 104
A.24	ESP_name 104
A.25	ESP_optRate_m3day 105
A.26	ESP_power_W 105
A.27	ESP_rate_max_sm3day 106
A.28	E_1 106
A.29	feed_calc 106
A.30	feed_CJT_Katm 107
A.31	feed_gas_fraction_d 107
A.32	feed_mod_mix 108
A.33	feed_mod_separate_gas 108
A.34	feed_mod_split 109
A.35	feed_mu_mix_cP 109

A.36	feed_p_gas_fraction_atma	110
A.37	feed_q_mix_rc_m3day	110
A.38	feed_rho_mix_kgm3	111
A.39	feed_rp_gas_fraction_m3m3	111
A.40	GLV_p_atma	112
A.41	GLV_q_gas_sm3day	113
A.42	GL_decode_string	113
A.43	GL_encode_string	113
A.44	IPR_pi_sm3dayatm	114
A.45	IPR_p_wf_atma	115
A.46	IPR_q_liq_sm3day	115
A.47	MF_choke_calibr	116
A.48	MF_choke_calibr_fast	116
A.49	MF_choke_p_atma	117
A.50	MF_choke_q_sm3day	118
A.51	MF_dpdl_atmm	118
A.52	MF_pipe_p_atma	119
A.53	PVT_bg_m3m3	120
A.54	PVT_bo_m3m3	120
A.55	PVT_bw_m3m3	121
A.56	PVT_calc	121
A.57	PVT_compressibility_gas_1atm	122
A.58	PVT_compressibility_oil_1atm	122
A.59	PVT_compressibility_wat_1atm	123
A.60	PVT_cp_gas_JkgC	123
A.61	PVT_cp_oil_JkgC	124
A.62	PVT_cp_wat_JkgC	124
A.63	PVT_cv_gas_JkgC	125
A.64	PVT_mu_gas_cP	125
A.65	PVT_mu_oil_cP	126
A.66	PVT_mu_wat_cP	126
A.67	PVT_pb_atma	127
A.68	PVT_rho_gas_kgm3	127

A.69	PVT_rho_oil_kgm3	127
A.70	PVT_rho_wat_kgm3	128
A.71	PVT_rs_m3m3	128
A.72	PVT_salinity_ppm	129
A.73	PVT_ST_liqgas_Nm	129
A.74	PVT_ST_oilgas_Nm	130
A.75	PVT_ST_watgas_Nm	130
A.76	PVT_z	131
A.77	transient_def_cd	131
A.78	transient_def_cs_1atm	132
A.79	transient_def_pd	132
A.80	transient_def_p_wf_atma	133
A.81	transient_def_td	133
A.82	transient_def_t_day	134
A.83	transient_pd_radial	134
A.84	transient_pwf_radial_atma	135
A.85	unf_version	136
A.86	well_ksep_natural_d	136
A.87	well_ksep_total_d	137

Введение

Документ описывает набор макросов и функций Unifloc 7.26 VBA для проведения инженерных расчетов систем нефтедобычи в Excel. Макросы Unifloc 7.26 VBA позволяют строить расчетные модули, которые могут быть использованы для изучения математических моделей систем нефтедобычи и развития навыков проведения инженерных расчётов, изучения нефтяного инжиниринга и проведения расчетов.

Макросы и функции Unifloc 7.26 VBA охватывают основные элементы математических моделей систем «пласт - скважина - скважинное оборудование» - модель физико-химических свойств пластовых флюидов (PVT модель), модели многофазного потока в трубах, скважинном оборудовании, пласте, модели скважин и узлового анализа систем нефтедобычи.

Для использования Unifloc 7.26 VBA требуются навыки уверенного пользователя MS Excel, желательно знание основ программирования и теории добычи нефти.

Алгоритмы реализованные в Unifloc 7.26 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 7.26 VBA). Все приводится как есть. Более надёжным способом получения достоверной информации о работе макросов Unifloc 7.26 VBA является изучение непосредственно расчётного кода в редакторе VBE.

https://github.com/unifloc/unifloc_vba

Хабибуллин Ринат (khabibullin.ra@gubkin.ru)

Глава 1. Макросы VBA для проведения расчётов

Расчёты Unifloc 7.26 VBA выполняются с использованием макросов, написанных на языке программирования Visual Basic for Application (VBA), встроенном в Excel [[wikipedia VBA](#)].

Макросы Unifloc 7.26 VBA могут быть использованы различными способами. В самом простом варианте для использования Unifloc 7.26 VBA не требуется программировать (писать код на VBA), достаточно уметь вызывать необходимые функции из рабочей книги Excel, создавая расчётные модули. В более сложном и мощном варианте использования на основе функций Unifloc 7.26 VBA можно создавать свои макросы, которые могут быть вызваны, например, по нажатию кнопки. Это упрощает проведение больших массовых расчётов, но требует написания кода на VBA. Самый продвинутый вариант подразумевает создание собственных программ на основе объектной модели Unifloc 7.26 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 расчётов. 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

1.1.1. Ручной запуск надстройки

Для работы с надстройкой рекомендуется ручной способ ее запуска, описанный в данном разделе. (альтернативный способ описан в следующем разделе). Ручной запуск надстройки не требует 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.

Убедиться, что надстройка загружена можно по наличию закладки "unifloc" на панели кнопок Excel. Там же можно найти кнопку для проверки версии надстройки и исправления путей к надстройке.

При переносе файла использующего макросы Unifloc 7.26 VBA на другой компьютер, при запуске может возникать сообщение, что связанный файл надстройки не найден. Это происходит поскольку Excel при использовании функций любой надстройки автоматически при вызове функции сохраняет полный путь к надстройке. При изменении положения надстройки на компьютере (например при переносе на новый компьютер) Excel не может автоматически исправить путь и требует действий пользователя.

При получении такого сообщения возможны два варианта действий. Первый - в окне запроса следует выбрать кнопку "изменить" и указать правильное положение файла надстройки. Второй – в окне запроса указать – продолжить (или отменить обновление связанных файлов). После того как окно закроется, на закладке "unifloc" выбрать кнопку «исправить ссылки на надстройку». После этого для всех вызовов функций надстройки Unifloc 7.26 VBA ссылки на надстройку будут исправлены автоматически. Отчёт об исправлении можно найти в окне immediate редактора VBE.

1.1.2. 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 Unifloc 7.26 VBA, нажмите кнопку Обзор (в диалоговом окне Надстройки), выберите файл надстройки, а затем нажмите кнопку ОК.
4. Надстройка появится в списке надстроек. Галочка активации надстройки должна быть установлена

После установки и активации надстройки, встроенными в неё 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. При переносе файлов использующих функции Unifloc 7.26 VBA с другого компьютера или на другой компьютер может потребоваться исправить путь к надстройке. Это можно сделать с использованием соответствующей кнопки на закладке "unifloc".

1.1.3. 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 – Обзоратель проекта>. Макросы располагаются в ветках «модули» и «модули классов»

1.1.4. Некоторые особенности 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*.

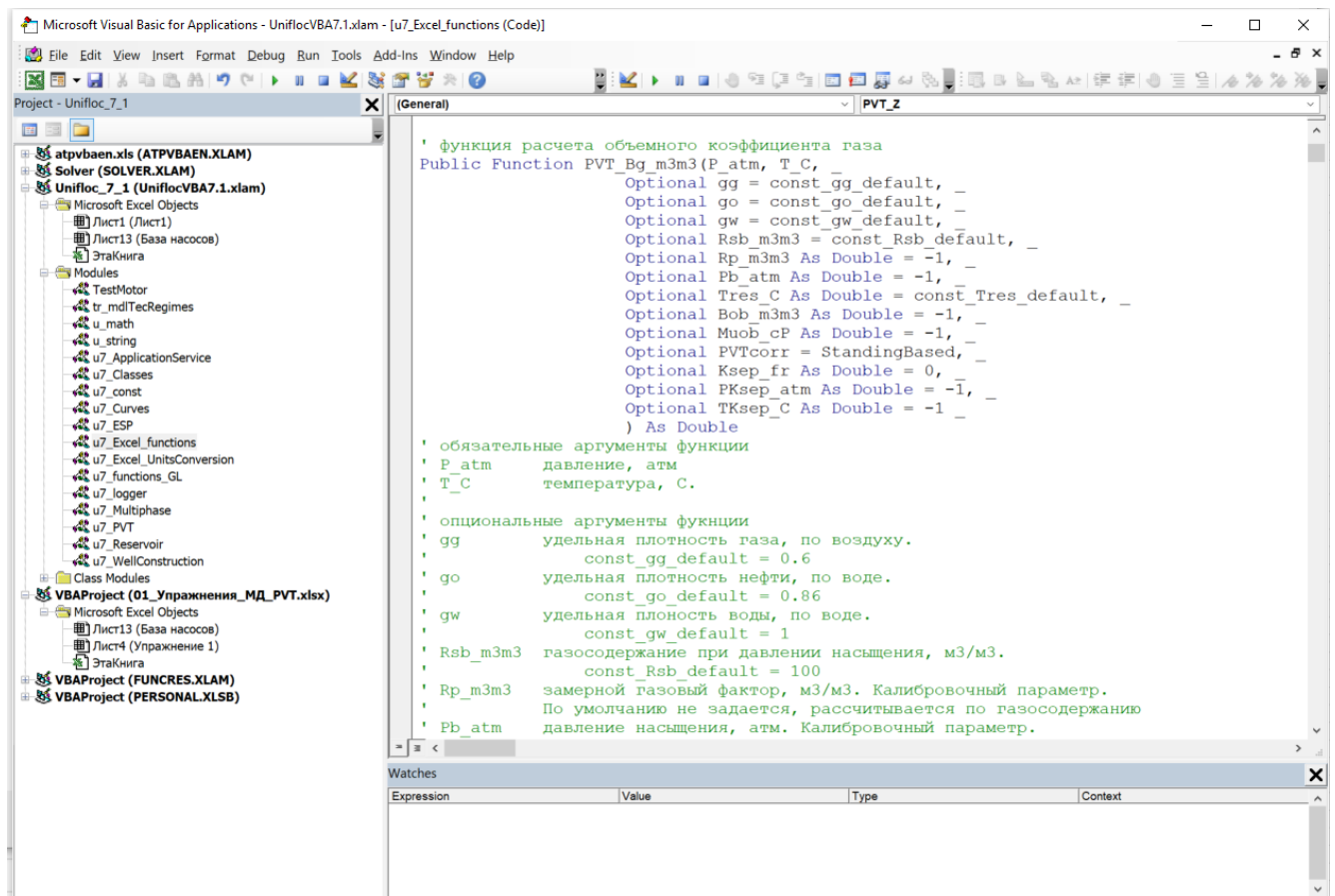


Рис. 1.1 — Окно редактора VBE

1.2. Соглашения по названию функций и переменных Unifloc 7.26 VBA

При создании макросов в основном использовались международные обозначения переменных, принятые в монографиях общества инженеров нефтяников SPE. Список наиболее употребляемых обозначений приведён 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 подчёркивания (там, где это возможно),
- для расчётных функций название может содержать (последовательно) - префикс, указывающий группу функций, расчётное значение, ключевые параметры, на основе которых проводится расчёт, размерность результата,
- для минимизации путаницы с размерностями физических величин все размерные переменные в названии содержат явное указание размерности.

1.3. Строковые переменные и параметры

В надстройке унифлок, начиная с версии 7.26, активно используются строковые переменные для передачи параметров и настроек расчёта различных функций. Для кодирования значений в строках используется формат [json](#).

Работа с json строками основана на макросах github.com/VBA-tools/VBA-JSON и github.com/VBA-tools/VBA-Dictionary by Tim Hall. Макросы и информация о их разработчиках в модуле JsonConverter и модуле класса Dictionary.

Для удобства работы со строковыми переменными реализован ряд пользовательских функций для работы с ними из рабочей книги Excel. Такие функции начинаются с префикса `encode_` для функций формирующих строки json и с префикса `decode_` для функций анализирующих строки json.

1.3.1. Строковая переменная - словарь

Тут немного про словари. Используются для задания параметров проведения расчётов. Иногда результаты могут выводиться в виде словаря значений.

1.3.2. Строковая переменная - массив

Тут немного про массивы. Используются для задания векторных переменных, например инклинометрии. Некоторые результаты могут быть массивами.

1.4. Модель пласт - скважина - скважинное оборудование

Набор функций Unifloc 7.26 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 расчётов и на решения, которые могут быть приняты на основе расчётов.

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 многофазного потока в пласте и призабойной зоне скважины
- модель работы УЭЦН
- модель работы скважины как системы ”пласт - скважина - скважинное оборудование”

Ключевым параметром модели нефтедобычи является распределение давления и температуры в системе. Моделирование всех элементов системы направлено, как правило, на то, чтобы восстановить распределение давления.

Модель нефтедобычи напрямую отражается в объектной модели Unifloc 7.26 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 расчёты из рабочей книги. Более полный набор пользовательских функций и их описание можно найти в коде надстройки или в приложении ”Автоматически сгенерированное описание”.

Глава 2. PVT - свойства флюидов и потока флюидов

2.1. Модель физико-химических свойств потока флюидов в Unifloc 7.26 VBA

В Unifloc 7.26 VBA выделяются две сущности необходимые для описания свойств добываемой продукции – флюид и поток флюидов. Флюид это статичная смесь нефти, газа и воды. Свойства флюидов как правило определяются в лаборатории и часто называются PVT свойства. Поток флюидов - это то, что движется в пласте, скважине, трубопроводах. Поток дополнительно описывается динамическими характеристиками - объёмным или массовым расходом флюида, и параметрами определяющими соотношение фаз в потоке - обводненностью и газовым фактором. Параметры потока измеряются, как правило, специальными устройствами – расходомерами. Измерения проводится непосредственно на промысле. Для обозначения флюида в коде часто используются термины `fluid` или `PVT`, для обозначения потока используется термин `feed` (по аналогии с симулятором OLGA).

Для расчёта свойств флюидов в Unifloc 7.26 VBA используется модель нелетучей нефти (`black oil model`). Это простая модель, в которой предполагается наличие в нефти только двух фаз – жидкости и газа. Модель позволят рассчитать параметры флюидов, наиболее сильно влияющие на свойства потока флюидов - плотности фаз, вязкости и их объёмные соотношения в зависимости от давления и температуры.

Для всех пользовательских функций, реализующих расчёт с учётом PVT свойств необходимо задавать одинаковый набор параметров, описывающих нефть, газ и воду. Как правило это закодированные в строки параметры флюида и потока флюидов. Для некоторых функций не все параметры влияют на результат расчёта, тем не менее, они должны быть определены. Это сделано для унификации методик расчёта — при любом вызове функции проводится расчёт всех параметров 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 7.26 VBA и функциями реализующими конкретные корреляции.

2.1.1. Статические PVT параметры

Типовой набор статических PVT параметров, описывающий флюид в достаточной для проведения расчётов степени, 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 задается 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 задается 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 соответствует многим месторождениям Западной Сибири `const_Rsb_default = 100`.
- P_b - давление насыщения, атм. Стандартное обозначение в коде `Pb_atm`. Калибровочный параметр. По умолчанию не задается, 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 $\mu_{ob_сР}$. 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
 - StraightLine = 2 - на основе упрощённых зависимостей

Статические параметры кодируются в json строку функцией `encode_PVT`.

2.1.2. Динамические PVT параметры

Типовой набор динамических PVT параметров, описывающих поток флюидов в достаточной для проведения расчётов степени, приведён ниже:

- q_{liq} - дебит жидкости в стандартных условиях, м³/сут.
- f_w - обводненность, объёмная в стандартных условиях, %.
- R_p - замерной газовый фактор, м³/м³. Стандартное обозначение в коде Rp_m3m3 . Калибровочный параметр. По умолчанию используется значение равное газосодержанию при давлении насыщения. Если задаётся значение меньшее, чем газосодержание при давлении насыщения, то последнее принимается равным газовому фактору (приоритет у газового фактора, потому что как правило это замерное значение в отличии от газосодержания определяемого по результатам лабораторных исследований проб нефти).
- q_{gas} - свободный расход газа в потоке, ст. м³/сут.

Динамические параметры кодируются в json строку функцией `encode_feed`. Данная функция кроме динамических параметров кодирует так же статические. Таким образом закодированные данные о потоке содержат все данные необходимые для расчёта элемента системы нефтедобычи.

Обратите внимание, что до версии 7.26 значение газового фактора Rp_m3m3 относилось к PVT свойствам, что было нелогично, но так сложилось исходя из логики развития расчётных модулей. Начиная с версии 7.26 в ходе рефакторинга

кода была предпринята попытка сделать код более логичным и газовый фактор отделен от статических параметров флюида.

2.2. Выбор набора PVT корреляций

Параметры пластовых флюидов PVT связаны между собой корреляционными зависимостями, позволяющими рассчитать часть параметров через другие. Ниже приведена схема из справочника по физическим свойствам нефти компании Юкос (2002 года) [0], показывающая последовательность расчётов PVT параметров нефти.

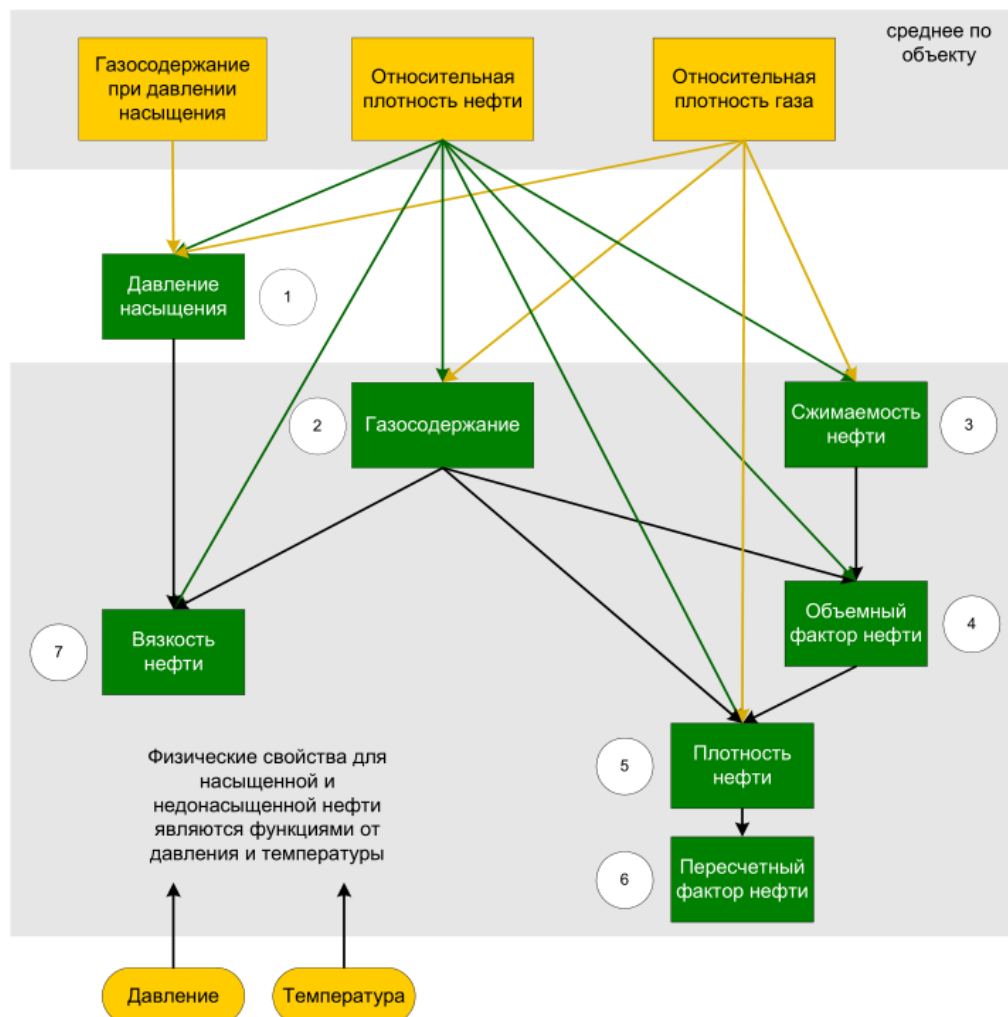


Рис. 2.1 — Схема взаимной связи PVT параметров нефти для модели black oil [0]

В Unifloc 7.26 VBA реализована возможность проведения расчётов по нескольким наборам корреляций - набору на основе корреляций Стендинга $PVT_correlation=0$ и на основе корреляций МакКейна

Таблица 1 — Набор корреляций на основе корреляций Стендинга

PVT_correlation=0

Параметр	PVT_correlation=0
B_w	McCain 1990 [0]
k	Moshfeghian [0]
z	Kareem 2015 [0]
B_g	по определению через z
μ_g	Ли 1966 [0]
μ_{od}	Beggs Robinson 1975 [0]
μ_o при $p < p_b$	Beggs Robinson 1975 [0]
μ_o при $p > p_b$	Vasquez Beggs 1980 [0]
p_b	Standing 1947 [0]
r_s при $p < p_b$	Standing 1947 [0]
B_o при $p < p_b$	Standing 1947 [0]
B_o при $p > p_b$	по определению из c_o
c_o при $p > p_b$	Vasquez Beggs 1980 [0]
c_o при $p < p_b$	

PVT_correlation=1. В таблицах 1 и 2 приведены корреляции для отдельных свойств использованные в наборах. PVT корреляции позволяют восстановить все необходимые для расчётов параметры из минимального набора исходных данных - плотности газа γ_g , плотности дегазированной нефти γ_o и газосодержания при давлении насыщения r_{sb} .

Обозначение параметров в таблицах 1 и 2:

B_w – объёмный коэффициент воды, water FVF,

k – показатель адиабаты газа, gas heat capacity ratio,

z – коэффициент сверхсжимаемости газа, gas compressibility,

B_g – объёмный коэффициент газа, gas FVF,

μ_g – вязкость газа, gas viscosity,

μ_{od} – вязкость дегазированной нефти, dead oil viscosity,

μ_o – вязкость нефти при произвольном давлении, вязкость насыщенной нефти, saturated oil viscosity,

p_b – давление насыщения, bubble point pressure,

r_s – газосодержание, solution gas ratio,

B_o – объёмный коэффициент нефти, oil FVF,

Таблица 2 — Набор корреляций на основе корреляций McCain

PVT_correlation=1

Параметр	PVT_correlation=1
B_w	McCain 1990 [0], [0], [0]
k	Moshfeghian [0]
z	Kareem 2015 [0]
B_g	по определению через z
μ_g	Ли 1966 [0]
μ_{od}	Beal 1946, [0], Standing 1981 [0]
μ_o при $p < p_b$	Beal 1946, [0], Standing 1981 [0], при $r_{sb} < 350 \text{ м}^3/\text{м}^3$ Beggs Robinson 1975 [0], при $r_{sb} > 350 \text{ м}^3/\text{м}^3$
μ_o при $p > p_b$	Standing 1981 [0], при $r_{sb} < 350 \text{ м}^3/\text{м}^3$ Vasquez Beggs 1980 [0], при $r_{sb} > 350 \text{ м}^3/\text{м}^3$
p_b	Valko McCain 2003 [0]
r_s при $p < p_b$	Velarde McCain 1997 [0]
B_o при $p < p_b$	McCain [0]
B_o при $p > p_b$	по определению из c_o
c_o при $p > p_b$	Vasquez Beggs 1980 [0]
c_o при $p < p_b$	

c_o – сжимаемость нефти, oil compressibility.

Выбор корректного набора корреляций позволит более корректно описать поведение системы «пласт - скважина - скважинное оборудование».

На практике для повышения точности моделирования широко применяется задание расширенного набора исходных PVT параметров - калибровочных параметров: давления насыщения P_b , объёмного коэффициента нефти при давлении насыщения B_{ob} , вязкости нефти при давлении насыщения μ_{ob} .

Применение калибровочных параметров значительно снижает зависимость результатов расчётов от выбора корреляции, хотя и не устраняет такую зависимость полностью. Поэтому при отсутствии других соображений, рекомендуется использовать для расчётов набор на основе корреляций Стендинга (быстрее считает по сравнению с МакКейном) и применять калибровочные параметры.

Также полезно помнить, что калибровочные параметры, могут значительно искажать результаты рассчитанные по корреляциям. Например корреляция может дать давление насыщения P_b около 100 бар. Если вы введёте калибровочное значение

давления насыщения P_b 20 бар, программной ошибки в расчёте не возникнет, но в реальности расхождение давления насыщения по корреляции от фактического в 5 раз маловероятно. Скорее всего, в этом случае данные не корректны. Возможность возникновения подобных рассогласований данных следует всегда иметь в виду и применять калибровочные параметры с осторожностью.

2.3. 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 7.26 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
```

2.4. Кодирование PVT свойств в строке.

Свойства пластовых флюидов должны быть заданы для любого расчёта связанного с добычей нефти. Для полного задания свойств флюидов в модели Unifloc 7.26 VBA требуется указать более 10 параметров. Это не всегда бывает удобно делать, особенно если проводится расчёт с использованием нескольких функций. Необходимость контролировать большое количество входных параметров функций на расчётном листе Excel может приводить к ошибкам, опечаткам.

Для удобства в большинстве функций Unifloc 7.26 VBA создан режим упрощённого задания PVT параметров с использованием кодирования в строке. Кодирование осуществляется функциями `encode_PVT` и `encode_feed`. Результатом кодирования является строка в формате json, содержащая данные обо всех необходимых параметрах. Строку можно использовать в качестве аргумента в расчётах требующих указания PVT свойств.

```
' Функция кодирования параметров PVT в строку,
' для передачи PVT свойств в прикладные функции Унифлок.
Public Function encode_PVT( _
    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 pb_atma, _
    Optional ByVal t_res_C, _
    Optional ByVal bob_m3m3, _
    Optional ByVal muob_cP, _
    Optional ByVal PVT_corr_set _
)
' gamma_gas - удельная плотность газа, по воздуху.
'             По умолчанию const_gg_ = 0.6
' gamma_oil - удельная плотность нефти, по воде.
'             По умолчанию const_go_ = 0.86
' gamma_wat - удельная плотность воды, по воде.
'             По умолчанию const_gw_ = 1
' rsb_m3m3   - газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'             По умолчанию const_rsb_default = 100
' rp_m3m3    - замерной газовый фактор, м3/м3.
'             Имеет приоритет перед rsb если rp < rsb
```



```

' pb_atma - давление насыщения при температуре t_res_C, атма.
'           Опциональный калибровочный параметр,
'           если не задан или = 0, то рассчитывается по корреляции.
' t_res_C - пластовая температура, С.
'           Учитывается при расчете давления насыщения.
'           По умолчанию const_tres_default = 90
' bob_m3m3 - объемный коэффициент нефти при давлении насыщения
'           и пластовой температуре, м3/м3.
'           По умолчанию рассчитывается по корреляции.
' muob_cP - вязкость нефти при давлении насыщения.
'           и пластовой температуре, сП.
'           По умолчанию рассчитывается по корреляции.
' PVT_corr_set - номер набора PVT корреляций для расчета:
'           0 - на основе корреляции Стендинга;
'           1 - на основе кор-ии Маккейна;
'           2 - на основе упрощенных зависимостей.
' результат - закодированная строка

```

Закодировать json строку можно универсальной функцией `encode_json` передав в неё ссылку на диапазон ячеек содержащих необходимые параметры и их значения. При этом должны использоваться строго заданные наименования параметров.

Все доступные параметры флюида (по состоянию для версии 7.26) перечислены в таблице ниже

Параметр	Описание	Примечание
gamma_gas	удельная плотность газа	обязательный
gamma_oil	удельная плотность нефти	обязательный
gamma_wat	удельная плотность воды	опциональный
rsb_m3m3	газосодержание при давлении насыщения	обязательный
pb_atma	давление насыщения	калибровочный
t_res_C	пластовая температура	калибровочный
bob_m3m3	объёмный коэффициент нефти при давлении насыщения	калибровочный
muob_cP	вязкость нефти при давлении насыщения	калибровочный
PVT_corr_set	номер набора корреляционных зависимостей	опциональный

Калибровочные параметры опциональны - если их не задать, соответствующие значения будут рассчитаны по корреляциям. Все доступные параметры потока флюидов (по состоянию для версии 7.26) перечислены в таблице ниже

Параметр	Описание	Примечание
q_liq_sm3day	дебит жидкости	обязательный
fw_perc	обводненность	обязательный
rp_m3m3	газовый фактор	опциональный
q_gas_free_sm3day	дебит свободного газа	опциональный

u7_Excel_functions_service - модуль в котором можно найти функции кодирования.

2.5. Преобразования потоков флюидов

При движения потока флюидов в системе нефтедобычи он может изменяться за счёт смешения различных потоков или разделения одного потока на несколько.

Простые преобразования потоков могут быть рассчитаны с использованием пользовательских функций Unifloc 7.26 VBA начинающихся с префикса PVT_mod_ – PVT modification functions.

- сепарация части свободного газа из потока
- смешение двух потоков
- разделение потока флюидов с произвольными параметрами

2.5.1. PVT_mod_separate_gas – сепарация части свободного газа из потока

Функция PVT_mod_separate_gas описывает процесс сепарации свободного газа из потока, например на приёме УЭЦН или в газосепараторе. После отделения части свободного газа из потока, свойства потока по прежнему могут быть описаны в рамках модели нелетучей нефти, но с несколько модифицированными параметрами, учитывающими изменение фазового состава. Функция PVT_mod_separate_gas как раз рассчитывает такие параметры.

Алгоритм модификации параметров потока сводится к снижению газового фактора и расхода свободного газа, что удаляет газ из потока. При необходимости проводится корректировка давления насыщения P_b , объёмного коэффициента при давлении насыщения B_{ob} и вязкости при давлении насыщения μ_{ob} .

Как правило, сепарация газа из потока проводится при относительно низком давлении, например при давлении на приёме насоса. Для потока в трубах предполагается, что в каждый момент времени все фазы потока находятся в термодинамическом равновесии, что позволяет применять корреляции для нелетучей нефти. Однако при поступлении частично дегазированного потока в насос, давление в нем резко повышается на значительную величину (для центробежного насоса с производительностью $150 \text{ м}^3/\text{сут}$, время прохождения потоком через одну ступень составляет около 0.02 сек [0], таким образом через ЭЦН с 400 ступеней поток будет двигаться порядка 10 сек . При этом давление может повыситься на величину порядка 200 атм). За такое время свободный газ оставшийся в потоке может не успеть достичь термодинамического равновесия с нефтью, или другими словами может не успеть полностью раствориться. В работе Игrevского В.И. [0] для учёта этого эффекта вводится коэффициент фазной неравновесности K_f

$$K_f = \frac{V_{sol}}{V_{eq}} = \frac{Q_{g.sol}}{Q_{g.eq}}$$

где V_{sol} - объем газа который растворится в нефти при движении через ЭЦН, V_{eq} - объем газа который растворился бы в нефти при движении через ЭЦН при достижении термодинамического равновесия.

Величина K_f зависит среди прочих параметров от дисперсности потока (размера пузырьков газа), и объёмного газосодержания. Для грубодисперсных смесей газ - вода можно принять $K_f = 0.2$, для тонкодисперсных от $K_f = 0.7$ до $K_f = 1$. Для газонефтяных смесей можно считать $K_f = 1$, то есть весь газ успевает раствориться в нефти при движении через ЭЦН. Это же предположение может быть использовано при движении газонефтяной смеси через трубы (скорость движения меньше в 5 - 10 раз в НКТ по сравнению с ЭЦН).

Для оценки влияния фазной неравновесности нефти на параметры многофазного потока при сепарации газа из потока можно использовать параметр `gas_goes_into_solution`, который определяет значение K_f

При условии $K_f = 0$ – газ выделившийся в свободное состояние не растворяется обратно в нефти, при $K_f = 1$ – весь газ может раствориться при повышении давления.

Новый газовый фактор и расход свободного газа, после сепарации газа можно найти из условия

$$r_p^{new} = r_p - (r_p - r_s) k_{sep} \quad (2.1)$$

$$q_{gas}^{new} = q_{gas}(1 - k_{sep}) \quad (2.2)$$

Максимально возможное значение газосодержания при повышении давления можно найти из выражения

$$r_s^{max} = r_s + (r_p - r_s)(1 - k_{sep}) * K_f \quad (2.3)$$

При повышении давления часть газа может раствориться в нефти, что можно описать найдя величины P_b^{new} , B_{ob}^{new} , μ_{ob}^{new} с учетом максимально достижимого значения газосодержания (2.3).

$$P_b^{new} = P_b(r_s^{max})$$

$$B_{ob}^{new} = B_{ob}(r_s^{max})$$

$$\mu_{ob}^{new} = \mu_{ob}(r_s^{max})$$

где соответствующие зависимости $P_b(r_s)$, $B_o(r_s)$, $\mu_o(r_s)$ определяются в соответствии с заданным набором корреляций.

Рассмотрим пример 1 преобразования свойств потока флюида для следующего набора параметров: параметры сепарации: $k_{sep} = 0.5$, $p_{sep} = 50$ атма, $t_{sep} = 90$ С, $K_f = 0$.

Зависимости свойств флюида от давления для примера 1 приведены на рисунке 2.2.

Из приведённых рисунков видно, что свойства нефти при давлении ниже давления сепарации не изменились, а новое давление насыщения показывает, что при повышении давления газ не будет растворяться в нефти. При этом значения параметров потока жидкости Q_{liq} , f_w не изменяются.

Таблица 3 — Исходные данные и результаты расчёта модификации флюида после частичной сепарации свободного газа. Пример 1, $K_f = 0$ – газ не растворяется при повышении давления.

Параметр	Исходные значения	Модифицированные
γ_g	0.9	0.9
γ_o	0.9	0.9
r_{sb} , м ³ /м ³	80	25
P_b , атма	130	50
T_{res} , С	90	90
B_{ob} , м ³ /м ³	1.2	1.09
μ_{ob} , сП	1	1.96
$Q_{gas\ free}$, м ³ /сут	1000	500
Q_{liq} , м ³ /сут	15	15
f_w , %	1	1
r_p , м ³ /м ³	80	52

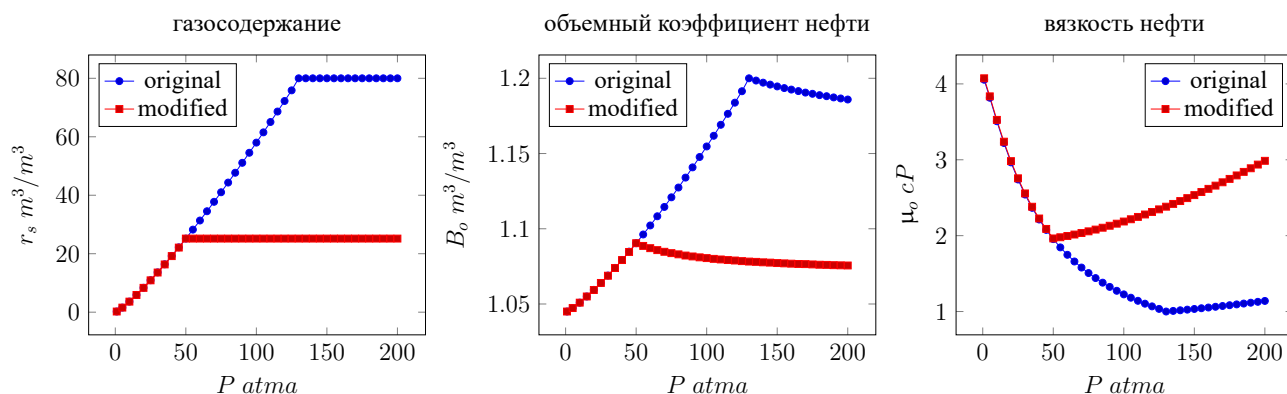


Рис. 2.2 — Зависимость параметров флюида от давления до и после сепарации части свободного газа. Пример 1, $K_f = 0$ – газ не растворяется при повышении давления

При увеличении коэффициента неравновесности $K_f = 0.9$ картина изменится - эффективное значение давления насыщения нефти вырастет, что позволит части газа раствориться. Ниже приводится пример 2, где также для наглядности изменён набор корреляций для следующего набора параметров: $k_{sep} = 0.5$, $p_{sep} = 50$ атма, $t_{sep} = 90$ С, $K_f = 0.9$. Результаты расчета приведены в таблице 4 и на рисунке 2.3.

Следует отметить, что на величину эффективного значения давления насыщения может значительно влиять выбор набора корреляций для расчёта PVT свойств, в частности корреляции для зависимости давления насыщения от газосодержания при давлении насыщения.

Таблица 4 — Исходные данные и результаты расчёта модификации флюида после частичной сепарации свободного газа. Пример 2, $K_f = 0.9$ – газ частично растворяется при повышении давления.

Параметр	Исходные значения	Модифицированные
γ_g	0.9	0.9
γ_o	0.9	0.9
$r_{sb}, \text{м}^3/\text{м}^3$	80	61
$P_b, \text{атма}$	130	84
$T_{res}, \text{С}$	90	90
$B_{ob}, \text{м}^3/\text{м}^3$	1.2	1.16
$\mu_{ob}, \text{сП}$	1	1.22
$Q_{gas\ free}, \text{м}^3/\text{сут}$	1000	500
$Q_{liq}, \text{м}^3/\text{сут}$	15	15
$f_w, \%$	1	1
$r_p, \text{м}^3/\text{м}^3$	80	63

Зависимости свойств флюида от давления для примера 2 приведены на рисунке 2.3.

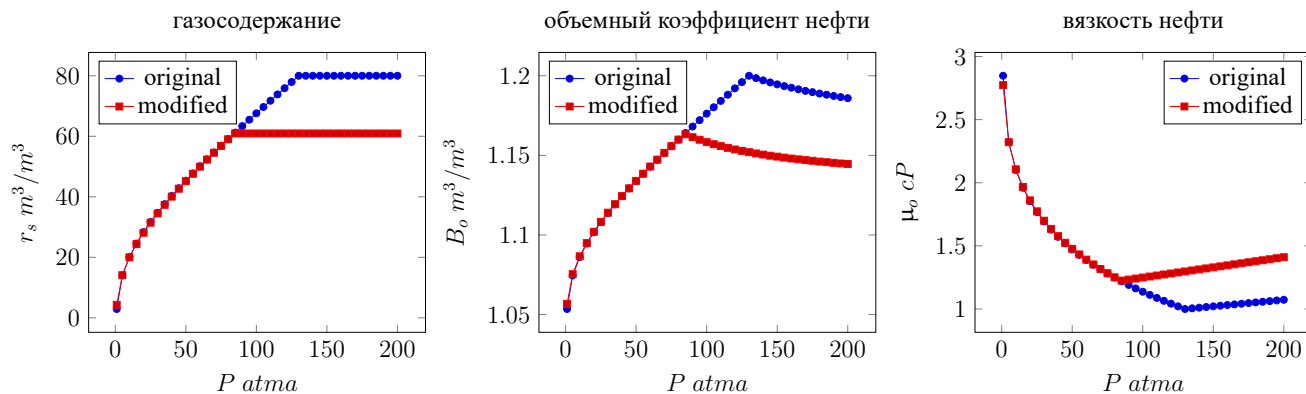


Рис. 2.3 — Зависимость параметров флюида от давления до и после сепарации части свободного газа. Пример 2, $K_f = 0.9$ – газ частично растворяется при повышении давления

2.5.2. PVT_mod_split – разделение двух потоков флюидов

Тут надо будет описать функцию расчёта параметров двух разделённых потоков флюидов с произвольными коэффициентами деления по фазам. Пока не реализовано

2.5.3. PVT_mod_mix – смешивание двух потоков флюидов

Тут надо будет описать функцию расчёта параметров двух смешанных потоков флюидов. Пока не реализовано

2.6. Соотношение некоторых свойств пластовых флюидов

Приведем в этом разделе несколько картинок, рассчитанных с использованием Unifloc 7.26 VBA показывающих соотношение некоторых параметров для различных типов флюидов. Расчет проведен с использованием `ex010.PVT.xls` и его можно повторить. Картинки представляются интересными и полезными, но не вписываются в описание отдельных функций, поэтому приводятся тут. Интересное наблюдение по этим графикам - это то, что свойства газа сильно отличаются от свойств жидкости. При этом свойства газа сильно меняются с давлением.

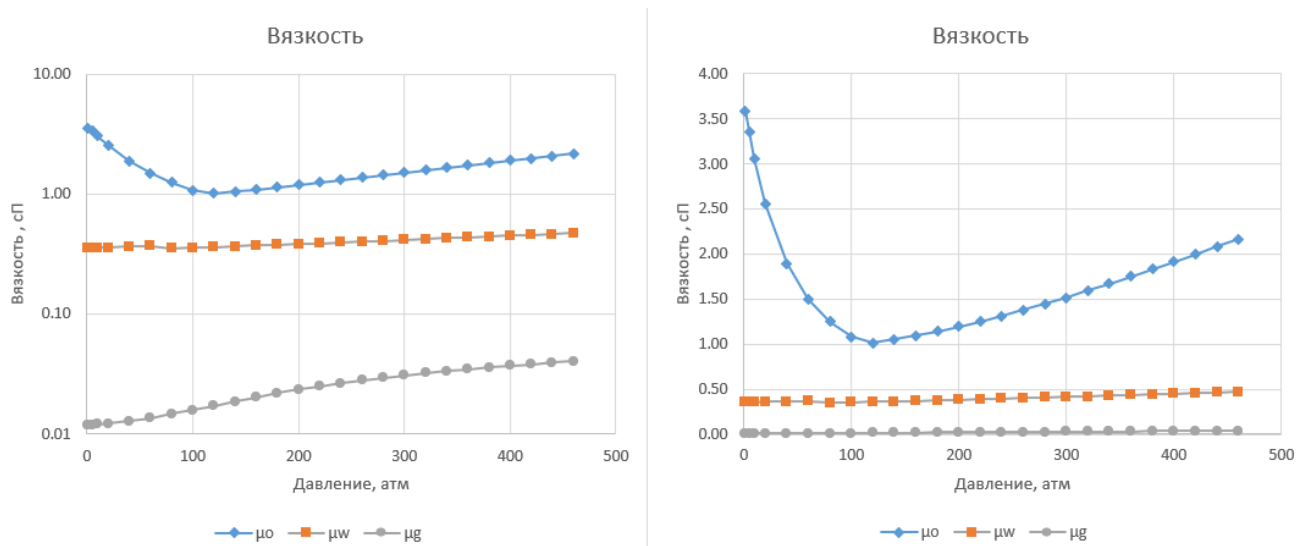


Рис. 2.4 — Зависимость вязкости от давления для нефти, газа и воды. Обычные и полулогарифмические координаты

Вязкость газа сильно меньше чем для нефти и воды, поэтому ее логично показать в полулогарифмических координатах. Также заметно для нефти, что давление насыщения сильно влияет.

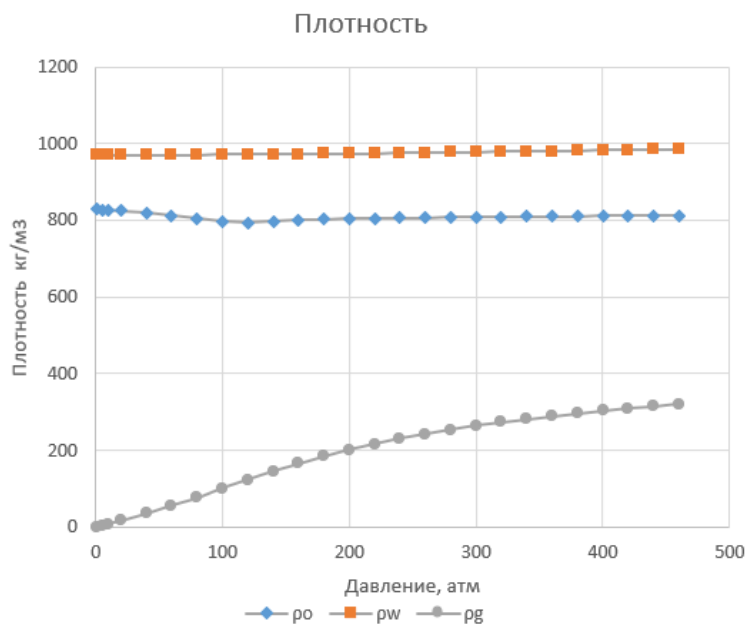


Рис. 2.5 — Зависимость плотности от давления для нефти, газа и воды

Плотность газа сильно растет с давлением, но при этом в диапазоне интереса остается заметно ниже плотности нефти и воды.

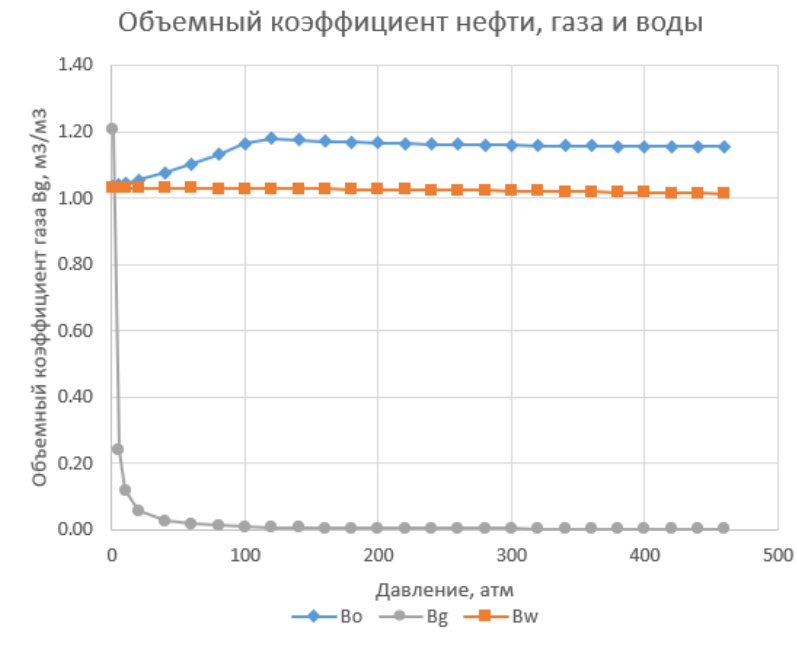


Рис. 2.6 — Зависимость объемного коэффициента от давления для нефти, газа и воды

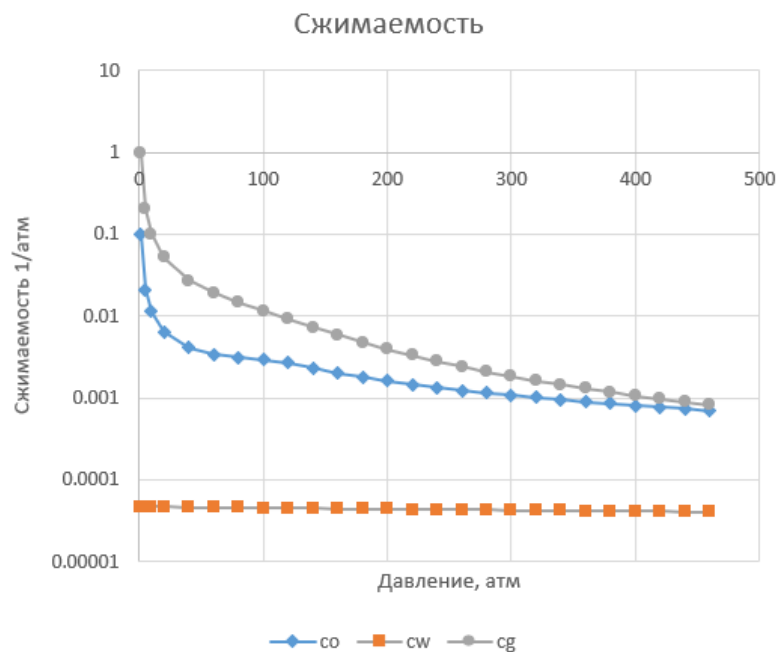


Рис. 2.7 — Зависимость сжимаемости от давления для нефти, газа и воды

Объемный коэффициент и сжимаемость непосредственно связаны между собой. Для нефти это справедливо только для насыщенной нефти.

$$B = B_{ref} e^{c(p-p_{ref})}$$

Для газа сжимаемость зависит от z фактора

$$c_g = \frac{1}{p} - \frac{1}{z} \frac{dz}{dp}$$

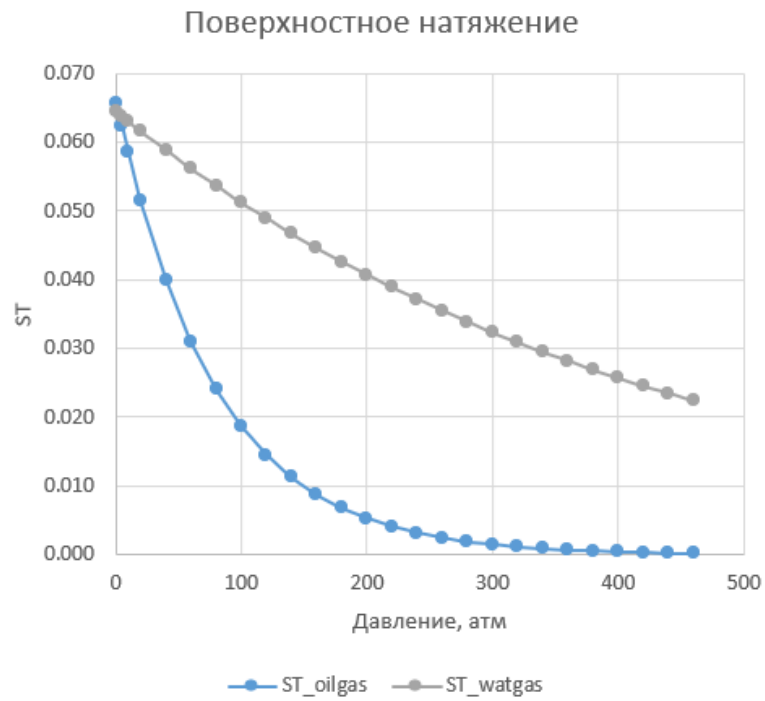


Рис. 2.8 — Зависимость коэффициента поверхностного натяжения нефть-газ и вода-газ от давления

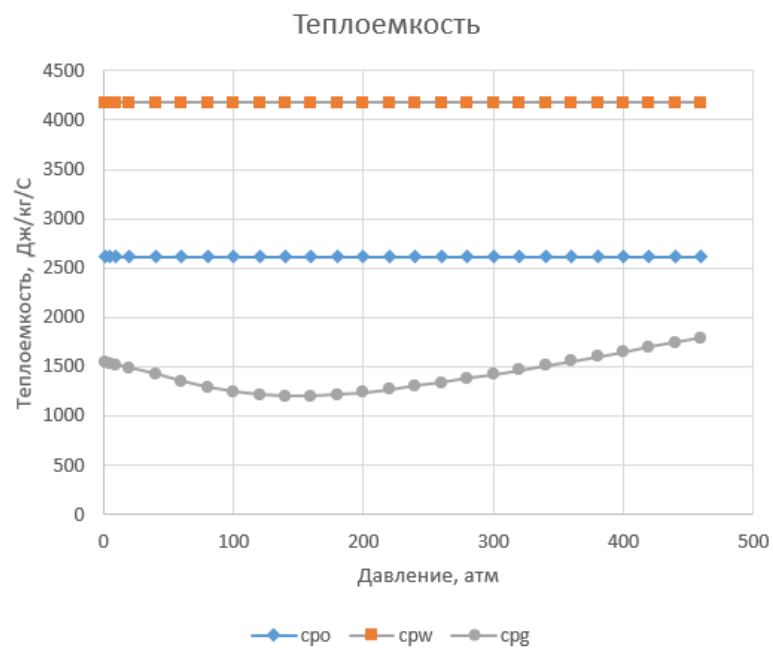


Рис. 2.9 — Зависимость теплоемкости при постоянном давлении от давления

2.6.1. PVT_pb_atma давление насыщения

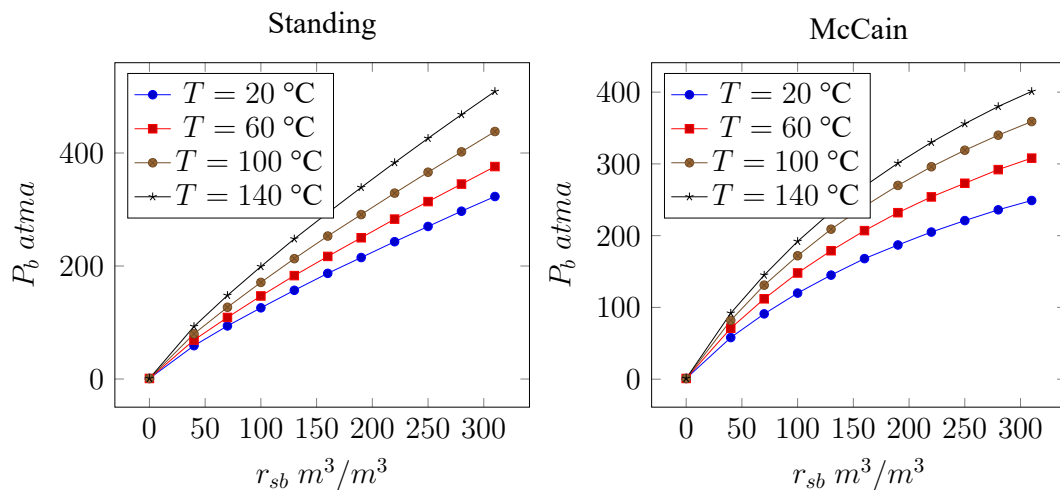
Функция рассчитывает давление насыщения по известным данным газосодержания при давлении насыщения, γ_g , γ_o , T_r .

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 [0]

```
' Расчет давления насыщения
Public Function PVT_pb_atma( _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C     - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
' 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 7.26 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 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$. При более низких значениях температуры расчёт будет проводиться для $18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

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

2.6.2. `PVT_rs_m3m3` – газосодержание

Газосодержание это отношения объёма газа растворённого 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 объём газа растворённого в нефти в пластовых условиях. В модели флюида `Unifloc 7.26 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 отличие от газосодержания r_{sb} является, вообще говоря, параметром скважины - показывает отношение объёма добытого из скважины газа 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 7.26 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.

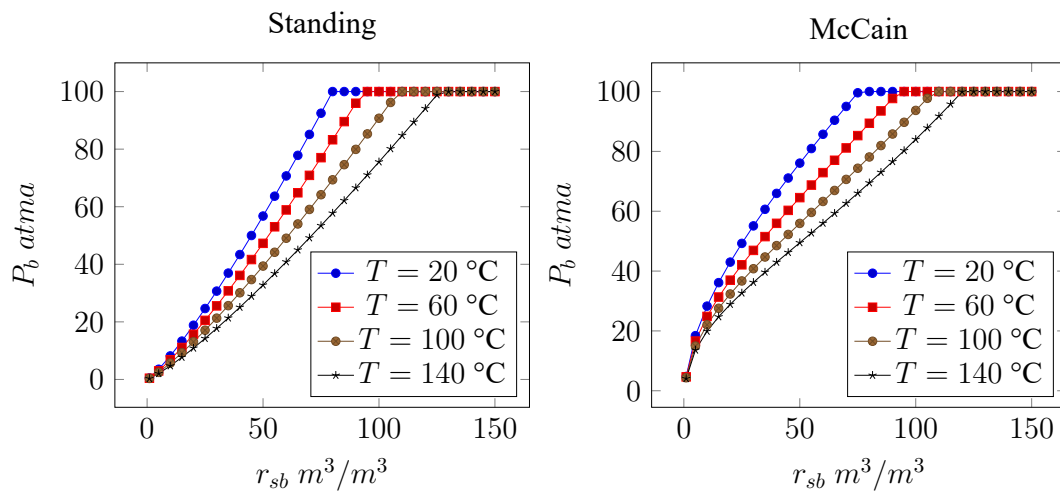
При определённых условиях газовый фактор может быть меньше газосодержания. Это происходит, когда газ выделяется в призабойной зоне и скапливается в ней, не поступая в скважину вместе с нефтью. При этом в скважину поступает частично дегазированная нефть. Такие условия возникают редко, требуют определённого 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 7.26 VBA. При этом значение газового фактора технически легче измерить чем газосодержание - поэтому при противоречии значений газового фактора и газосодержания при давлении насыщения приоритет отдаётся газовому фактору.

```

' расчет газосодержания
Public Function PVT_rs_m3m3( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'             используйте encode_pvt для ее генерации
'
' Возвращает значение газосодержания, м3/м3
' для заданных термобарических условий.

```

Примеры расчёта с использованием функции PVT_Rs_m3m3 для различных наборов PVT корреляций приведён на рисунке ниже.



2.6.3. PVT_bo_m3m3 – объёмный коэффициент нефти

Функция рассчитывает объёмный коэффициент нефти для произвольных термобарических условий. Объёмный коэффициент нефти определяется как отношение 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 единицы при давлениях больше чем стандартное.

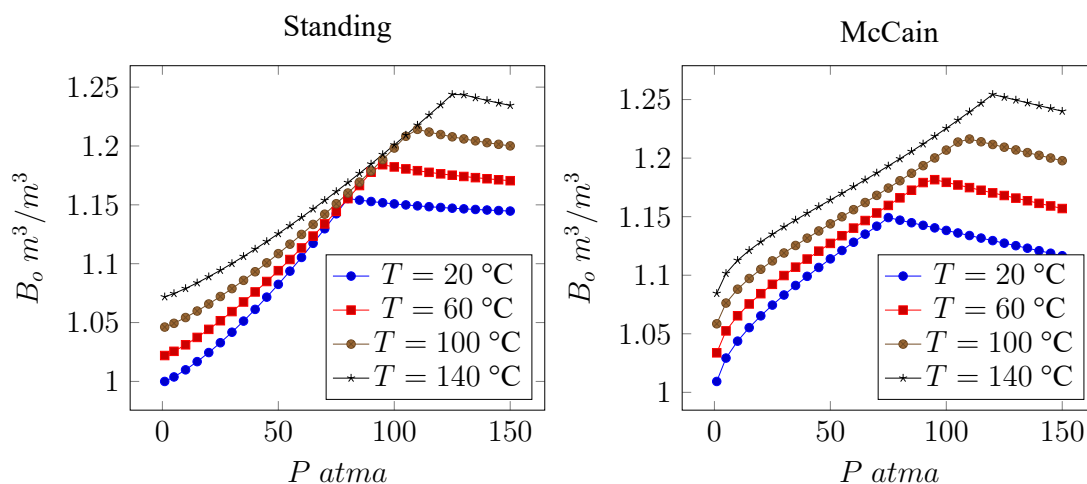
Для калибровки значения объёмного коэффициента можно использовать значение объёмного коэффициента нефти при давлении насыщения B_{ob} .

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, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C     - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
' Возвращает значение объемного коэффициента нефти, м3/м3
' для заданных термобарических условий.
```

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.



2.6.4. PVT_bg_m3m3 – объёмный коэффициент газа

Функция рассчитывает объёмный коэффициент нефтяного газа для произвольных термобарических условий.

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

$$B_g = \frac{V_{g,rc}(P,T)}{V_{g,sc}}$$

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

$$PV = z\nu RT$$

откуда можно получить

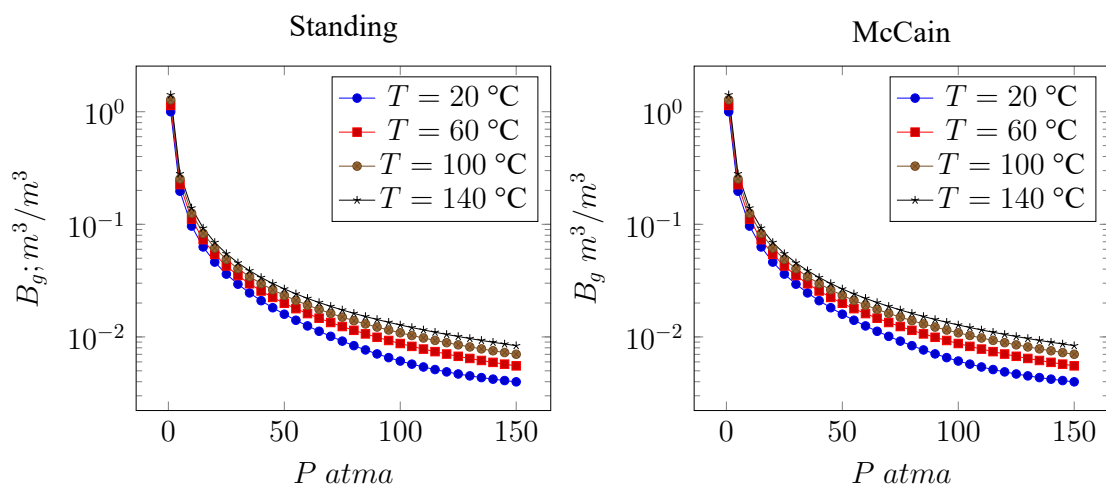
$$B_g = z \frac{P_{sc}}{P} \frac{T}{T_{sc}}$$

где P_{sc}, T_{sc} давление (атм) и температура (К) при стандартных условиях, P, T давление (атм) и температура ($^\circ\text{K}$) 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, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'             используйте encode_pvt для ее генерации
'
' Возвращает значение объемного коэффициента газа, м3/м3
' для заданных термобарических условий.
' В основе расчета корреляция для z фактора

```



2.6.5. 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.

$$B_w = \frac{V_{w,rc}(P,T)}{V_{w,sc}}$$

```

' расчет объемного коэффициента воды
Public Function PVT_bw_m3m3( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
' Возвращает значение объемного коэффициента воды, м3/м3
' для заданных термобарических условий.

```

2.6.6. PVT_mu_oil_cP – вязкость нефти

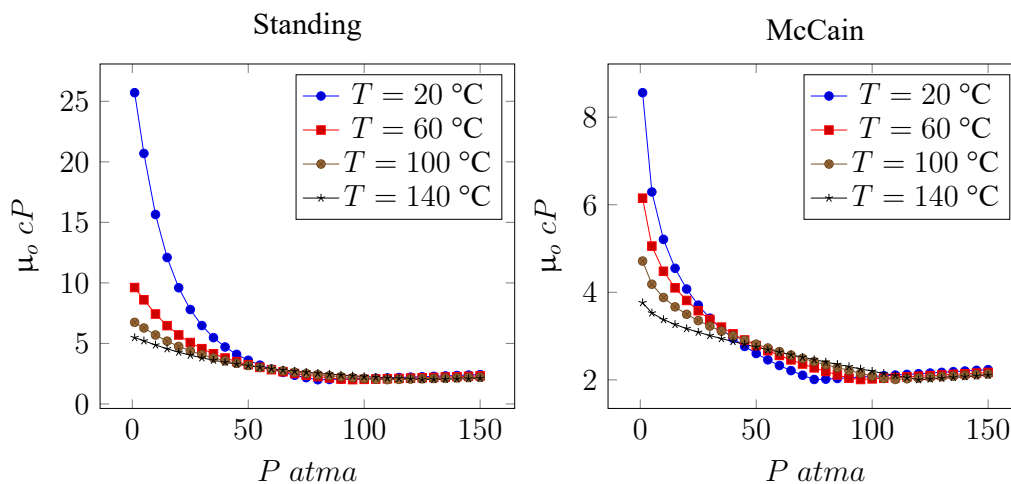
Функция рассчитывает вязкость нефти при заданных термобарических условиях по корреляции. Расчёт может быть откалиброван на известное значение вязкости нефти при давлении равном давлению насыщения и при пластовой температуре за счёт задания калибровочного параметра `muob_cP`. При калибровке динамика изменения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

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

При расчёте с использованием набора корреляций на основе корреляции Стендинга - вязкость как дегазированной нефти и нефти с учетом растворенного газа рассчитывается по корреляции Беггса Робинсона [0]. 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, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C - температура, C.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
' Возвращает значение вязкости нефти, cП
' для заданных термобарических условий.
```

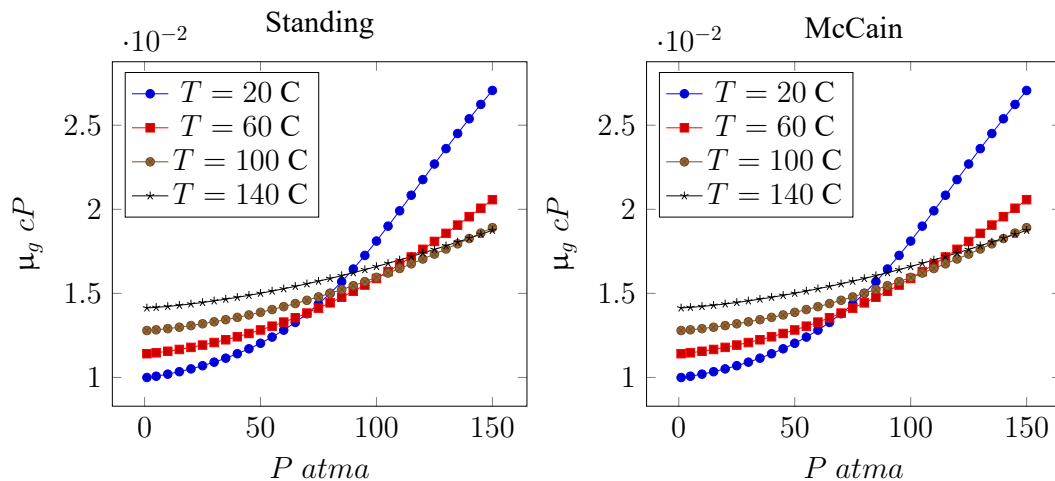


2.6.7. PVT_mu_gas_cP – вязкость газа

Функция рассчитывает вязкость газа при заданных термобарических условиях. Результат расчета в cП. Используется подход предложенный Lee [0], 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, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'             используйте encode_pvt для ее генерации
'
' Возвращает значение вязкости газа, сП
' для заданных термобарических условий.
```



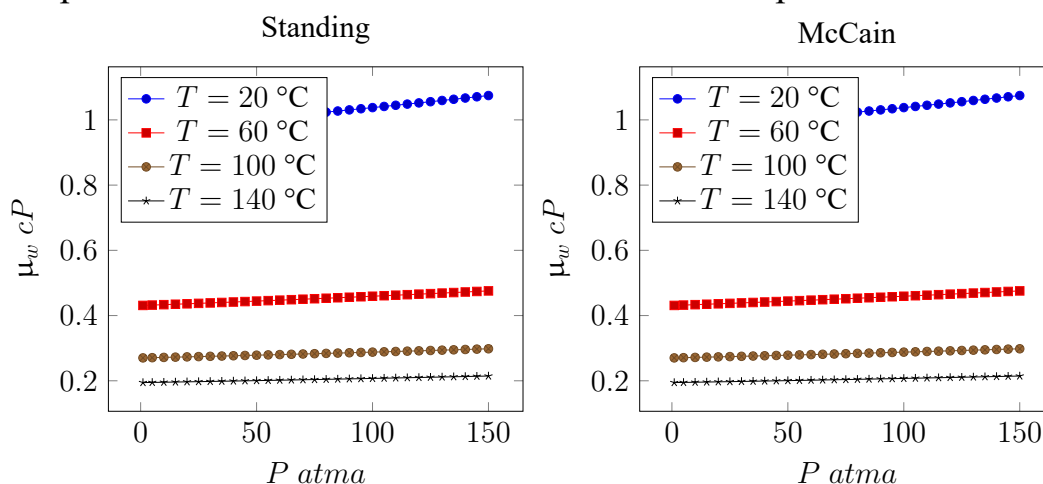
2.6.8. PVT_mu_wat_cP – вязкость воды

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 [0]

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, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
' Возвращает значение вязкости воды, сП
' для заданных термобарических условий.
```

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



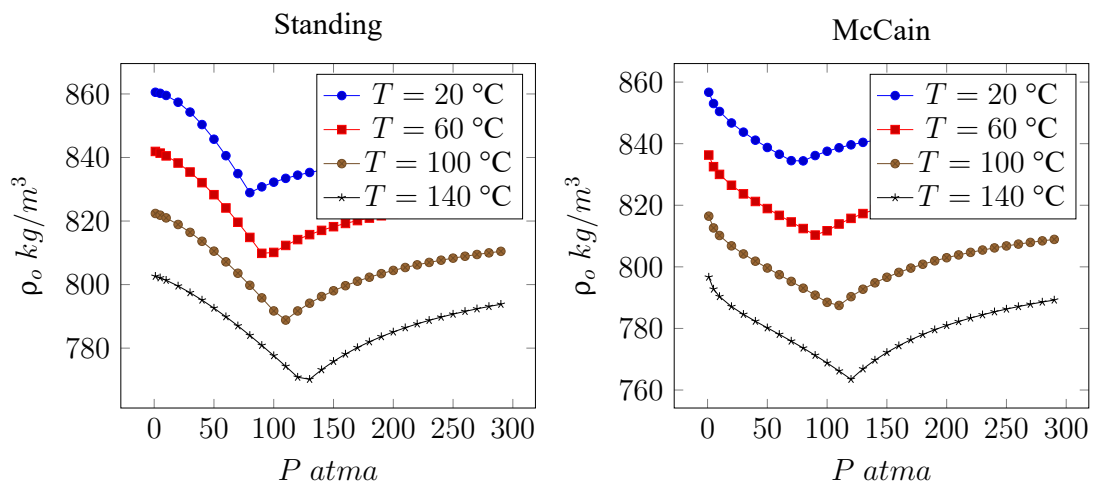
2.6.9. PVT_rho_oil_kgm3 – плотность нефти

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

$$\rho_{o,rc}(P,T) = 1000 \frac{\gamma_o + r_s(P,T)\gamma_g \frac{\rho_{air}}{1000}}{B_o(P,T)}$$

При расчёте плотности нефти при заданных условиях учитывается, что дополнительно к массе нефти при стандартных условиях, определяющей ее плотность, в нефти растворена определённая масса газа, которая должна быть учтена.

```
' расчет плотности нефти в рабочих условиях
Public Function PVT_rho_oil_kgm3( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C - температура, C.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
' результат - плотность нефти
'           при заданных термобарических условиях, кг/м3.
```



2.6.10. PVT_rho_gas_kgm3 – плотность газа

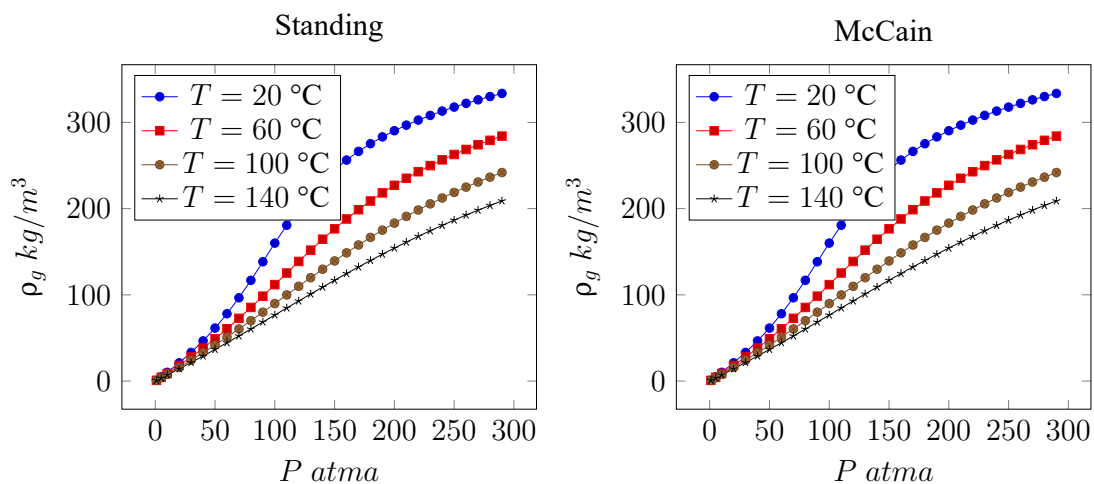
Плотность газа при заданных термобарических условиях целиком определяется объёмным коэффициентом газа B_g .

$$\rho_{g,rc}(P,T) = \frac{\gamma_g \rho_{air}}{B_g(P,T)}$$

```

' расчет плотности газа в рабочих условиях
Public Function PVT_rho_gas_kgm3( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'             используйте encode_pvt для ее генерации
'
' результат - число - плотность газа
'             при заданных термобарических условиях, кг/м3.

```



2.6.11. PVT_rho_wat_kgm3 – плотность воды

Плотность воды при заданных термобарических условиях целиком определяется объёмным коэффициентом воды B_w .

$$\rho_{w,rc}(P,T) = \frac{\gamma_w}{B_w(P,T)}$$

```

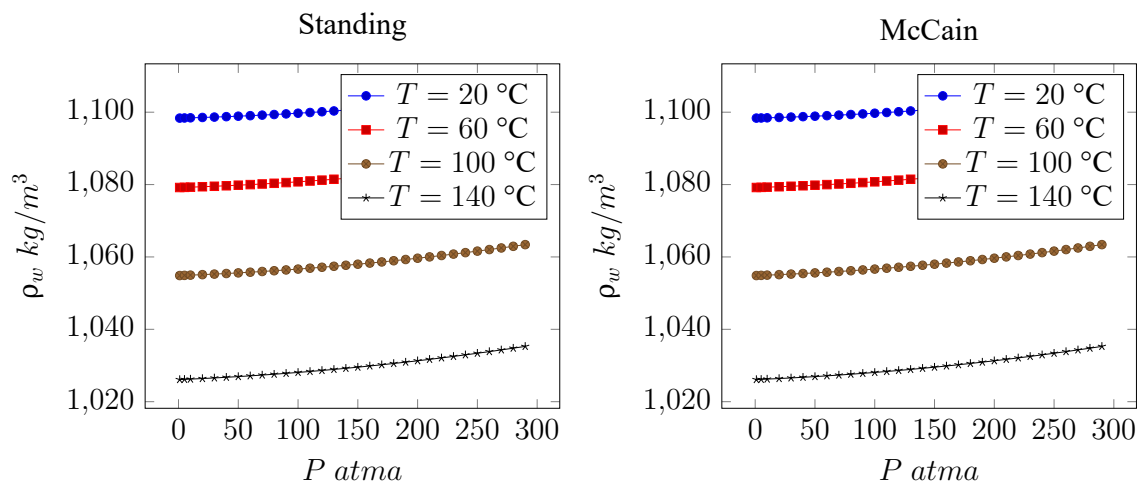
' расчет плотности воды в рабочих условиях
Public Function PVT_rho_wat_kgm3( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal PVT_prop As String)

```

```

' p_atma - давление, атм
' t_C    - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
' результат - число - плотность воды
'           при заданных термобарических условиях, кг/м3.

```



2.6.12. PVT_Z – коэффициент сверхсжимаемости газа

Функция позволяет рассчитать коэффициент сверхсжимаемости газа.

$$PV = z\nu RT$$

Коэффициент сверхсжимаемости задает поправку на объем реального газа по сравнению с идеальным при изменении давления или температуры. https://en.wikipedia.org/wiki/Compressibility_factor. Отличный обзор методов вычисления z можно найти <https://github.com/f0nzie/zFactor>. Для расчета коэффициента сверхсжимаемости реализовано три варианта. Первый приведенный Беггсом и Бриллом (1973) простой, быстрый но не очень точный, особенно для больших давлений.

$$z = A + \frac{1 - A}{e^B} + Cp_{pr}^D,$$

$$A = 1.39(T_{pr} - 0.92)^{0.5} - 0.36T_{pr} - 0.10,$$

$$B = (0.62 - 0.23T_{pr})p_{pr} + \left(\frac{0.066}{T_{pr} - 0.86} - 0.037 \right) p_{pr}^2 + \frac{0.32p_{pr}^2}{10^E}$$

$$C = 0.132 - 0.32 \log(T_{pr}), \quad D = 10^F,$$

$$E = 9(T_{pr} - 1) \text{ and } F = 0.3106 - 0.49T_{pr} + 0.1824T_{pr}^2$$

Второй вариант метода Дранчук, Абу Кассем (1975), основанный на решении кубического уравнения состояния - более точный, но медленный (так как уравнение решается итерациями)

$$z = \frac{0.27P_{pr}}{yT_{pr}},$$

где y решение уравнения

$$\left[R_5 y^2 (1 + A_{11} y^2) e^{(-A_{11} y^2)} \right] + R_1 y - \frac{R_2}{y} + R_3 y^2 - R_4 y^5 + 1 = 0$$

$$R_1 = A_1 + \frac{A_2}{T_{pr}} + \frac{A_3}{T_{pr}^3} + \frac{A_4}{T_{pr}^4} + \frac{A_5}{T_{pr}^5}, \quad R_2 = \frac{0.27P_{pr}}{T_{pr}}$$

$$R_3 = A_6 + \frac{A_7}{T_{pr}} + \frac{A_8}{T_{pr}^2}, \quad R_4 = A_9 \left(\frac{A_7}{T_{pr}} + \frac{A_8}{T_{pr}^2} \right), \quad R_5 = \frac{A_{10}}{T_{pr}^3}$$

$$A_1 = 0.3265, \quad A_2 = -1.0700, \quad A_3 = -0.5339, \quad A_4 = 0.01569,$$

$$A_5 = -0.05165, \quad A_6 = 0.5475, \quad A_7 = 0.7361, \quad A_8 = 0.1844,$$

$$A_9 = 0.1056, \quad A_{10} = 0.6134, \quad A_{11} = 0.7210$$

Третий вариант (активирован по умолчанию начиная с версии 7.14) вариант Кареем, Al-Marhoun (2015) [0]

$$z = \frac{DP_{pr}(1 + y + y^2 - y^3)}{(DP_{pr} + Ey^2 - Fy^G)(1 - y)^3}$$

$$y = \frac{DP_{pr}}{\left(\frac{1+A^2}{C} - \frac{A^2 B}{C^3} \right)},$$

где

$$t = \frac{1}{T_{pr}},$$

$$A = a_1 t e^{a_2(1-t)^2} P_{pr}, \quad B = a_3 t + a_4 t^2 + a_5 t^6 P_{pr}^6,$$

$$C = a_9 + a_8 t P_{pr} + a_7 t^2 P_{pr}^2 + a_6 t^3 P_{pr}^3$$

$$D = a_{10} t e^{a_{11}(1-t)^2}, \quad E = a_{12} t + a_{13} t^2 + a_{14} t^3,$$

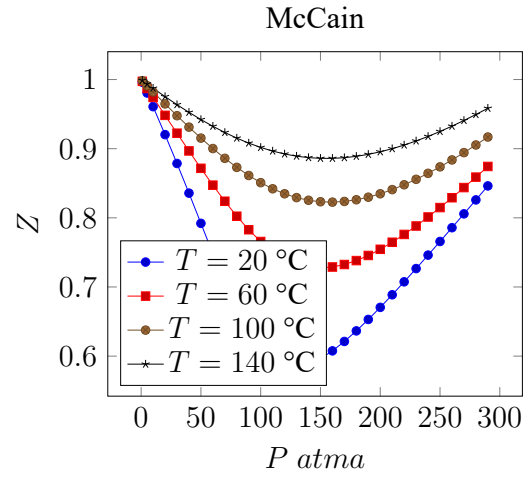
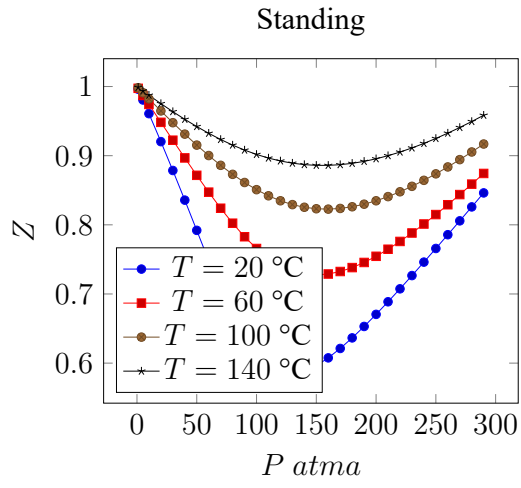
$$F = a_{15} t + a_{16} t^2 + a_{17} t^3, \quad G = a_{18} + a_{19} t$$

a_1	0.317842	a_{11}	-1.966847
a_2	0.382216	a_{12}	21.0581
a_3	-7.768354	a_{13}	-27.0246
a_4	14.290531	a_{14}	16.23
a_5	0.000002	a_{15}	207.783
a_6	-0.004693	a_{16}	-488.161
a_7	0.096254	a_{17}	176.29
a_8	0.166720	a_{18}	1.88453
a_9	0.966910	a_{19}	3.05921
a_{10}	0.063069		

Это вариант реализует явный расчет (без итераций) и обладает достаточно хорошей точностью.

Переключение метода расчета реализуется только в коде атрибутом `zCorr` экземпляра класса `CPVT`.

```
' расчет коэффициента сверхсжимаемости газа
Public Function PVT_z( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
' Результат - z фактор газа.
'           коэффициент сверхсжимаемости газа,
'           безразмерная величина
```



Глава 3. Многофазный поток в трубах, штуцере

3.1. Расчёт свойств потока

В отличие от функций расчета PVT (физико-химических свойств флюидов) функции расчета свойства потока учитывают дополнительные параметры потока флюидов - Q - дебит, объемный расход флюидов, f_w - обводненность, R_p - газовый фактор. В функциях свойств потока используется префикс `feed_`.

Параметры потока, такие как расход ГЖС, доля газа в потоке, вязкость ГЖС важны для расчёта и анализа работы скважин и скважинного оборудования.

3.1.1. `feed_q_mix_rc_m3day` – расход газожидкостной смеси

Функция позволяет рассчитать объёмный расход газожидкостной смеси при заданных термобарических условиях. Объёмный расход ГЖС важен например для подбора УЭЦН в скважине, так как именно определяет в какой точке характеристики УЭЦН будет работать. При наличии свободного газа в потоке расход ГЖС может быть значительно больше расхода жидкости на поверхности фиксируемого расходомером.

$$Q_{mix,rc} = Q_{w,sc}B_w(P,T) + Q_{o,sc}B_o(P,T) + Q_{o,sc}(R_p - R_s(P,T))B_g(P,T)$$

Расход ГЖС определяется как сумма расходов отдельных фаз, приведённых к соответствующим термобарическим условиям, с учётом того, что часть газа будет растворена в нефти.

```
' функция расчета расхода газо жидкостной смеси (ГЖС)
Public Function feed_q_mix_rc_m3day( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal feed As String, _
    Optional ByVal param As String = "")
' p_atma      - давление, атм
' t_C         - температура, С.
```

```
' feed - параметры потока флюидов, дебит, обводненность и пр
'
'           используйте encode_feed для генерации
' param      - параметры расчета и вывода результатов
' результат  - массив, расход ГЖС в рабочих условиях,
'
'           подпись, и лог расчета если подключен
```

3.1.2. feed_rho_mix_kgm3 – плотность газожидкостной смеси

Функция позволяет рассчитать плотность газожидкостной смеси при заданных термобарических условиях.

$$\rho_{mix,rc} = \left(\frac{\rho_{w,sc}}{B_w} f_w + \frac{\rho_{o,sc} + r_s \rho_{g,sc}}{B_o} (1 - f_w) \right) (1 - f_g) + \frac{\rho_{g,sc}}{B_g} f_g$$

```
' функция расчета плотности газо жидкостной смеси (ГЖС)
Public Function feed_rho_mix_kgm3( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal feed As String, _
    Optional ByVal param As String = "")
' p_atma      - давление, атм
' t_C         - температура, С.
' feed - параметры потока флюидов, дебит, обводненность и пр
'
'           используйте encode_feed для генерации
' param      - параметры расчета и вывода результатов
' результат  - массив, расход ГЖС в рабочих условиях,
'
'           подпись, и лог расчета если подключен
```

3.1.3. feed_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.

$$f_g = \frac{Q_{gas_rc}(1 - k_{sep_add})}{Q_{wat_rc} + Q_{oil_rc} + Q_{gas_rc}(1 - k_{sep_add})}$$

где все объёмные расходы фаз приведены в соответствующих термобарических условиях, а $k_{sep,add}$ - дополнительный коэффициент сепарации, учитывающий удаление части свободного газа из потока.

Доля газа в потоке является одним из ключевых параметров ограничивающих производительность систем механизированной добычи - ЭЦН и других насосов.

```
' функция расчета коэффициента Джоуля Томсона
Public Function feed_gas_fraction_d( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal feed As String, _
    Optional ByVal param As String = "", _
    Optional ByVal ksep_add_fr As Double = 0)
' p_atma      - давление, атм
' t_C         - температура, С.
' feed - параметры потока флюидов, дебит, обводненность и пр
'            используйте encode_feed для генерации
' param       - параметры расчета и вывода результатов
' ksep_add_fr - коэффициент сепарации газа из потока
' результат  - массив, значение коэффициента Джоуля Томсона потока,
'            подпись, и лог расчета если подключен
```

3.1.4. feed_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). Значение давления при котором достигается определённая доля газа в потоке может быть найдено из решения уравнения, определяющего долю газа.

$$f_g = \frac{Q_{gas_rc}(1 - k_{sep_add})}{Q_{wat_rc} + Q_{oil_rc} + Q_{gas_rc}(1 - k_{sep_add})}$$

Решение в Unifloc 7.26 VBA реализовано итеративное, методом деления отрезка пополам (дихотомия). При вызове функции пересчитывается состояние смеси с различными термобарическими условиями. Поэтому расчёт проводится относительно медленно.

Задание k_{sep_add} позволит оценить целевое давление на приеме для ЭЦН при известной доли газа и известном ожидаемом значении сепарации газа. Отметим, что значение сепарации может быть оценено по корреляционным зависимостям. Но такие зависимости требуют знания давления сепарации, а следовательно их учет совместно с алгоритмом расчета давления при котором достигается определенная доля газа потребует итеративного решения, что выходит за рамки данной функции (например из за того, что это потребует задания дополнительных параметров конфигурации скважины).

```
' расчет давления при котором
' достигается заданная доля газа в потоке
Public Function feed_p_gas_fraction_atma( _
    ByVal free_gas_d As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal feed As String, _
    Optional ByVal param As String = "", _
    Optional ByVal ksep_add_fr As Double = 0)
' free_gas_d - допустимая доля газа в потоке;
' t_C        - температура, С.
' feed - параметры потока флюидов, дебит, обводненность и пр
'          используйте encode_feed для генерации
' param      - параметры расчета и вывода результатов
' ksep_add_fr - коэффициент сепарации газа из потока
' результат  - массив, число - давление,
'              подпись, и лог расчета если подключен
```

3.1.5. feed_rp_gas_fraction_m3m3 – целевой газовый фактор для заданной доли газа в потоке

Функция расчёта газового фактора R_p при котором достигается заданная доля свободного газа в потоке (без учёта проскальзывания) . Значение давления при котором достигается определённая доля газа в потоке может быть найдено из решения уравнения, определяющего долю газа.

$$f_g = \frac{Q_{gas_rc}(1 - k_{sep_add})}{Q_{wat_rc} + Q_{oil_rc} + Q_{gas_rc}(1 - k_{sep_add})}$$

Решение в Unifloc 7.26 VBA реализовано с использованием итераций, методом деления отрезка пополам (дихотомия). При вызове функции состояние смеси пересчитывается с различными термобарическими условиями. Поэтому расчёт проводится относительно медленно.

Задание k_{sep_add} позволит оценить целевой газовый фактор при известной доли газа, давлении на приеме и ожидаемом значении сепарации газа. Отметим, что значение сепарации может быть оценено по корреляционным зависимостям. Но такие зависимости требуют знания как давления сепарации так и газового фактора, а следовательно их учет совместно с алгоритмом расчета газового фактора при котором достигается определенная доля газа потребует итеративного решения, что выходит за рамки данной функции (например из за того, что это потребует задания дополнительных параметров конфигурации скважины).

```
' расчет газового фактора
' при котором достигается заданная доля газа в потоке
Public Function feed_rp_gas_fraction_m3m3( _
    ByVal free_gas_d As Double, _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal feed As String, _
    Optional ByVal param As String = "", _
    Optional ByVal ksep_add_fr As Double = 0)
' free_gas_d - допустимая доля газа в потоке;
' t_C        - температура, C.
' feed - параметры потока флюидов, дебит, обводненность и пр
'          используйте encode_feed для генерации
' param      - параметры расчета и вывода результатов
' ksep_add_fr - коэффициент сепарации газа из потока
' результат  - массив, число - давление,
'              подпись, и лог расчета если подключен
```

3.2. 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. В частности меняются давление насыщения и газосодержание при давлении насыщения для флюида после сепарации. Более детальные модели флюида и сепарации могут показать, что при сепарации может поменяться и другие параметры - например состав газа после разгазирования. В модели нелетучей нефти реализованной в Unifloc 7.26 VBA эти эффекты не учитываются.

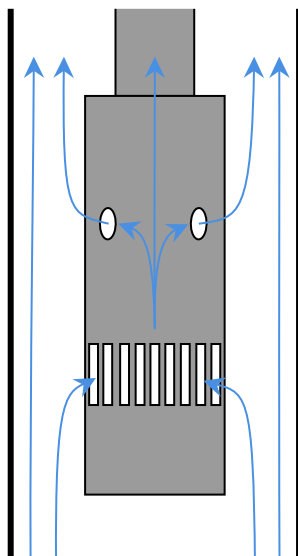


Рис. 3.1 — Схема линий тока газа на приеме ЭЦН

В скважине с ЭЦН работают два механизма сепарации свободного газа из потока, схематично показанные на рисунке 3.1 - естественная или натуральная сепарация газа, когда часть свободного газа за счет сил всплытия проходит мимо приема насоса и искусственная сепарация с применением газосепаратора, когда часть свободного газа выталкивается из насоса, обычно за счет центробежных сил.

Оценка этих механизмов, а также расчёт общей сепарации могут быть проведены приведёнными ниже функциями.

3.2.1. well_ksep_natural_d – естественная сепарация газа

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

```

' расчет натуральной сепарации газа на приеме насоса
Public Function well_ksep_natural_d( _
    ByVal q_liq_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 str_PVT As String = PVT_DEFAULT)
' q_liq_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
' str_PVT      - закодированная строка с параметрами PVT.
'              - если задана - перекрывает другие значения
' результат    - число - естественная сепарация

```

3.2.2. well_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.

$$K_{sep_total} = K_{sep_nat} + (1 - K_{sep_nat})K_{sep_gassep}$$

```

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

```

3.3. Расчёт многофазного потока в штуцере

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.

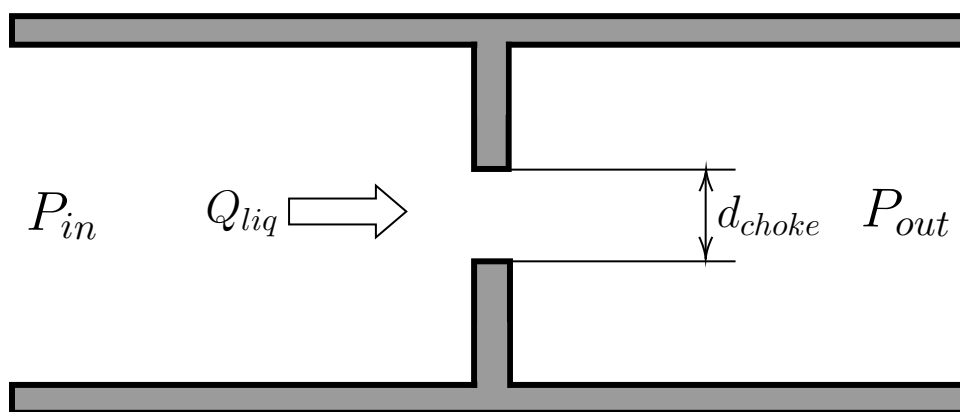


Рис. 3.2 — Схема локального гидравлического сопротивления - штуцера

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 за счёт подбора калибровочного параметра.

Следует обратить внимание, расчёт перепада давления в штуцере сильно зависит от направления расчёта. При фиксированном давлении на выходе P_{out} , что для скважины и штуцера на устье соответствует заданному давлению в линии, для любого расхода ГЖС через штуцер можно найти соответствующее значение давления на входе, пример показан на рисунке 3.3.

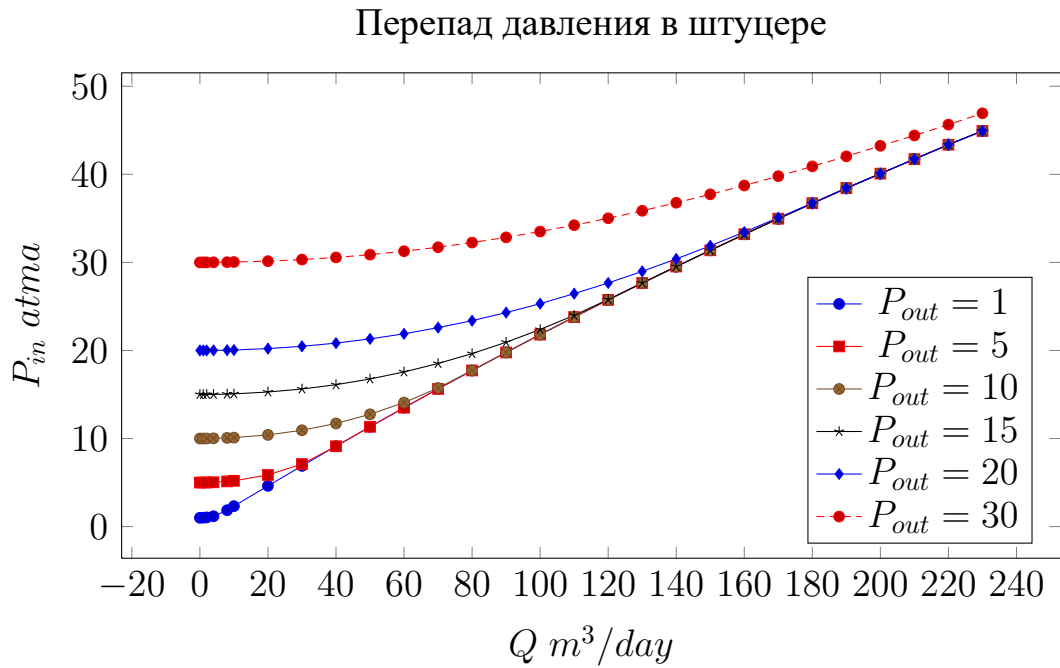


Рис. 3.3 — Кривые зависимости давления на входе в штуцер от дебита при фиксированном давлении на выходе из штуцера P_{out}

А вот при фиксированном давлении на входе P_{in} или фиксированном буферном давлении P_{buf} не для всякого расхода ГЖС можно рассчитать давление на выходе, смотри рисунок 3.4. При фиксированном давлении на входе P_{in} существует максимальный расход ГЖС, который можно прокачать через штуцер с заданным диаметром проходного канала. Такой расход называется критическим. При критическом расходе в канале штуцера скорость потока достигает скорости звука и давление на входе перестаёт зависеть от давления за штуцером. Величина критического расхода через штуцер зависит от давления на входе, поскольку с повышением давления увеличивается скорость звука в среде.

Вертикальная линия на графике зависимости давления на выходе P_{out} от дебита при критическом расходе показывает, что давление не определяется однозначно, а может принимать любое значение на вертикальной линии. Подобная неоднозначность расчётного давления на выходе штуцера может осложнять расчёты и должна учитываться инженером разрабатывающим расчётный модуль или проводящим расчёты.

Перепад давления в штуцере

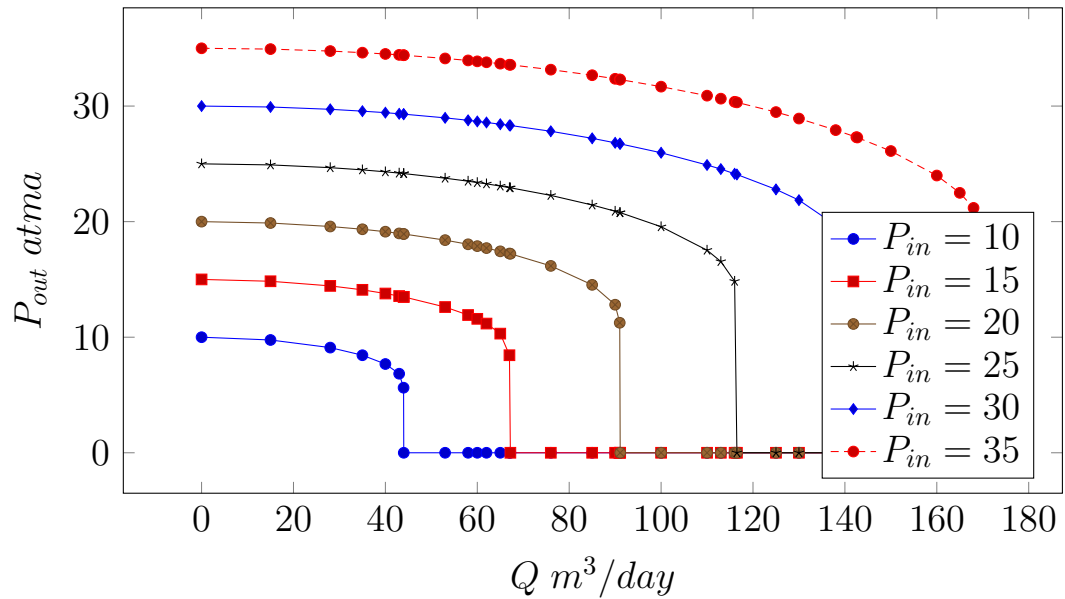


Рис. 3.4 — Кривые зависимости давления на выходе из штуцера от дебита при фиксированном давлении на входе в штуцер P_{in}

Функции расчета штуцера позволяют настроить модель штуцера на замерные данные. Настройка проводится за счет параметра калибровки c_{calibr} `c_calibr_fr`. Параметр калибровки c_{calibr} применяется как множитель на дебит при расчете характеристики штуцера.

$$Q_{real} = Q_{calc} * c_{calibr}$$

Таким образом $c_{calibr} = 1$ отключает калибровку. А изменение c_{calibr} позволит изменить характеристику штуцера для согласования с измерениями, пример показан на рисунке 3.5.

Пример калибровки модели штуцера

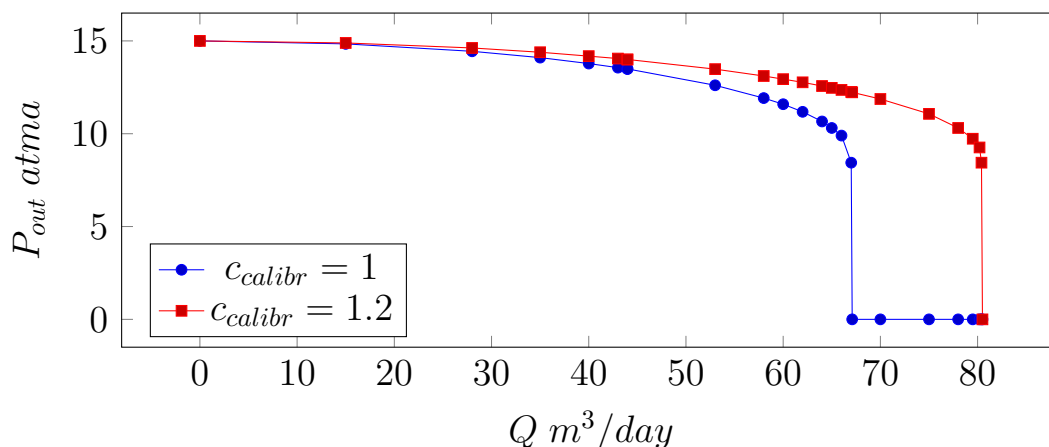


Рис. 3.5 — Кривые зависимости давления на выходе из штуцера от дебита при фиксированном давлении на входе в штуцер P_{in}

Все функции для расчета штуцера содержат в названии слово `choke`.

Результатом работы функций является массив значений содержащий давление на входе в штуцер P_{in} , давление на выходе из штуцера P_{out} , температуру потока в штуцере T_{choke} , калибровочный коэффициент штуцера c_{calibr} . Выходной массив содержит две строки - в первой находятся значения, во второй подписи. Это позволяет при необходимости вывести только значения в той же строке в которой проводился расчет. Значение в первой строке и в первом столбце зависит от настройки функции (параметра `calc_along_flow` для функции `MF_choke_p_atma`) и содержит основной результат расчета. Значения в последующих столбцах не зависят от настройки функции и показывают все результаты расчета. Для вывода массива в Excel следует выбрать необходимый диапазон ячеек, в который будут выводиться результаты в виде массива, затем ввести в адресную строку вызов функции и нажать комбинацию клавиш - `Cntrl-Shift-Enter`. После этого название функции в адресной строке должно отображаться в фигурных скобках, рисунок 3.6. При необходимости внести коррективы в вызов функции также необходимо подтверждать свои действия комбинацией клавиш `Cntrl-Shift-Enter`.

Функции расчёта штуцера поддерживают вычисления потока чистого газа через штуцер. Для этого в PVT строке надо установить `gas_only=True` и задать расход газа параметром `q_gas_sm3day` в соответствующей функции.

	B	C	D	E	F	G
31	Буферное давление	26	атм			
32	Рассчитать линейное давление	25.7	26.0	25.7	30.0	1.0
33		Pout, atma	intake_atm	p_out_atma	t_choke_C	c_calibr_fr
34						
35	Линейное давление	5	атм			
36	Рассчитать буферное давление	6.4	6.4	5.0	30.0	1.0
37		Pin, atma	intake_atm	p_out_atma	t_choke_C	c_calibr_fr
38						
39	Рассчитать подстроечный параметр					
40		0.21	26	5	30	0.21
41		c_calibr_fr	intake_atm	p_out_atma	t_choke_C	c_calibr_fr
42						
43	Рассчитать дебит через штуцер					
44		25	26	5	30	0.21
45		Qliq	intake_atm	p_out_atma	t_choke_C	c_calibr_fr
46						

Рис. 3.6 — Пример вывода результата расчета в массив

3.3.1. MF_choke_p_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, обводнённости, газовому фактору). Расчёт проводится по корреляции Перкинса [0] с учётом многофазного потока.

```
' расчет давления в штуцере (дресселе)
Public Function MF_choke_p_atma( _
    ByVal d_choke_mm As Double, _
    ByVal feed As String, _
    ByVal p_calc_from_atma As Double, _
    Optional ByVal t_choke_C As Double = 20, _
    Optional ByVal d_pipe_mm As Double = 70, _
    Optional ByVal calc_along_flow As Boolean = True, _
    Optional ByVal param As String = "")
' d_choke_mm      - диаметр штуцера (эффективный)
' feed            - закодированная строка с параметрами потока.
' p_calc_from_atma - давление с которого начинается расчет, атм
```

```

'                граничное значение для проведения расчета
'                либо давление на входе, либо на выходе
' t_choke_C      - температура потока, С.
' d_pipe_mm      - диаметр трубы до и после штуцера
' calc_along_flow - флаг направления расчета относительно потока
' param          - параметры расчета json строка
' результат      - число - массив значений с параметрами штуцера
'                и давление на штуцере на расчетной стороне.

```

Если при формировании PVT строки задать параметр `gas_only=True`, то расчет будет проведен для потока газа заданного параметром `q_gas_sm3day`.

3.3.2. MF_choke_q_sm3day – функция расчёта дебита жидкости через штуцер

Функция позволяет рассчитать по известному буферному давлению и линейному давлению дебит жидкости. Расчет проводится по корреляции Перкинса [0] с учетом многофазного потока.

```

' расчет давления в штуцере
Public Function MF_choke_q_sm3day( _
    ByVal feed As String, _
    ByVal d_choke_mm As Double, _
    ByVal p_in_atma As Double, _
    ByVal p_out_atma As Double, _
    Optional ByVal t_choke_C = 20, _
    Optional ByVal d_pipe_mm As Double = 70, _
    Optional ByVal param As String = "")
' feed          - закодированная строка с параметрами потока.
' d_choke_mm    - диаметр штуцера (эффективный)
' p_in_atma     - давление на входе в штуцер, атм.
'              - высокая сторона
' p_out_atma    - давление на выходе из штуцера, атм.
'              - низкая сторона
' t_choke_C     - температура потока, С.
' d_pipe_mm     - диаметр трубы до и после штуцера
' param         - параметры расчета json строка
' результат     - число - массив значений с параметрами штуцера
'              - и давление на штуцере на расчетной стороне.

```


Если при формировании PVT строки задать параметр `gas_only=True`, то расчет будет проведен для потока газа.

3.3.3. MF_choke_calibr_fast – простая и быстрая функция настройки модели штуцера

Функция позволяет рассчитать корректирующий фактор для модели штуцера, позволяющий согласовать результаты замеров давления и дебита. Расчет проводится по корреляции Перкинса [0] с учетом многофазного потока.

Это быстрый способ расчета калибровочного коэффициента. По факту он просто вычисляется исходя из модели штуцера. В более сложной функции калибровки MF_calibr_choke расчет будет проводится дольше, так как подстроечные параметры подбираются итеративным алгоритмом, зато имеется возможность подбора нескольких различных параметров.

```
' расчет корректирующего фактора (множителя) модели штуцера под замеры
' быстрый расчет - калибровка вычисляется
Public Function MF_choke_calibr_fast( _
    ByVal feed As String, _
    ByVal d_choke_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 t_choke_C As Double = 20, _
    Optional ByVal param As String = "")
' feed          - закодированная строка с параметрами потока.
' d_choke_mm    - диаметр штуцера (эффективный), мм
' p_in_atma     - давление на входе (высокой стороне)
' p_out_atma    - давление на выходе (низкой стороне)
' d_pipe_mm     - диаметр трубы до и после штуцера, мм
' t_choke_C     - температура, С.
' param        - параметры расчета json строка
' результат    - число - калибровочный коэффициент для модели.
'              - множитель на дебит через штуцер
```

Если при формировании PVT строки задать параметр `gas_only=True`, то расчет проведен не будет.

3.3.4. MF_choke_calibr – продвинутая функция настройки модели штуцера

Функция позволяет рассчитать корректирующий фактор для модели штуцера, позволяющий согласовать результаты замеров давления и дебита. Расчет проводится по корреляции Перкинса [0] с учетом многофазного потока.

Настройка может проводиться за счет подбора различных параметров. Тип калибровки выбирается параметром `calibr_type`. В текущей реализации может быть подобран только один из перечисленных ниже параметров.

- `calibr_type=0` Калибровочный коэффициент многофазной корреляции для гравитационной составляющей c_{calibr_grav} . Ищется в диапазоне от 0.5 до 1.5.
- `calibr_type=1` Калибровочный коэффициент многофазной корреляции для трения c_{calibr_fric} . Ищется в диапазоне от 0.5 до 1.5.
- `calibr_type=2` Газовый фактор R_p . Ищется в диапазоне $[20, 2R_p]$ относительно заданного газового фактора.
- `calibr_type=3` Обводненность f_w . Значение ищется в диапазоне $[0, 1]$.
- `calibr_type=4` Дебит жидкости Q_{liq} . Значение ищется в диапазоне от $[0, Q_{liq} * 1.5]$ относительно заданного дебита жидкости.
- `calibr_type=5` Дебит жидкости Q_{gas} . Значение ищется в диапазоне от $[0, Q_{gas} * 2]$ относительно заданного дебита газа или в диапазоне $[0, 10000]$ м3/сут если дебит газа не задан.

Результат расчета - массив с подобранным параметром или сообщением о невозможности подбора, информацией о количестве итераций.

```
' расчет корректирующего фактора (множителя) модели штуцера под замеры
' медленный расчет - калибровка подбирается
Public Function MF_choke_calibr( _
    ByVal feed As String, _
    ByVal d_choke_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 t_choke_C As Double = 20, _
    Optional ByVal param As String = "")

' feed          - закодированная строка с параметрами потока.
```

```

' d_choke_mm      - диаметр штуцера (эффективный), мм
' p_in_atma       - давление на входе (высокой стороне)
' p_out_atma      - давление на выходе (низкой стороне)
' d_pipe_mm       - диаметр трубы до и после штуцера, мм
' t_choke_C       - температура, С.
' param           - параметры расчета json строка
' результат       - число - калибровочный коэффициент для модели.
'                штуцера - множитель на дебит через штуцер

```

Если при формировании PVT строки задать параметр `gas_only=True`, то расчет проведен не будет.

3.4. Расчет многофазного потока в трубе

Расчет распределения давления в трубе основан на многофазных корреляциях. Выбор типа корреляции определяется параметром `hydr_corr`. В текущей версии Unifloc 7.26 VBA реализован следующий набор гидравлических корреляций:

1. `hydr_corr` = 0. Корреляция Беггса Брилла.
2. `hydr_corr` = 1. Корреляция Ансари.
3. `hydr_corr` = 2. Корреляция TUFFP Unified.
4. `hydr_corr` = 3. Корреляция Грея, модифицированная.
5. `hydr_corr` = 4. Корреляция Хайгедорна Брауна.
6. `hydr_corr` = 5. Корреляция Сахарова Мохова.
7. `hydr_corr` = 10. Расчет на основе плотности газа, без учета жидкости.

Ниже на рисунке 3.7 приведены результаты расчёта кривой оттока (перепада давления в вертикальной трубе) для различных корреляций, реализованных в Unifloc 7.26 VBA.

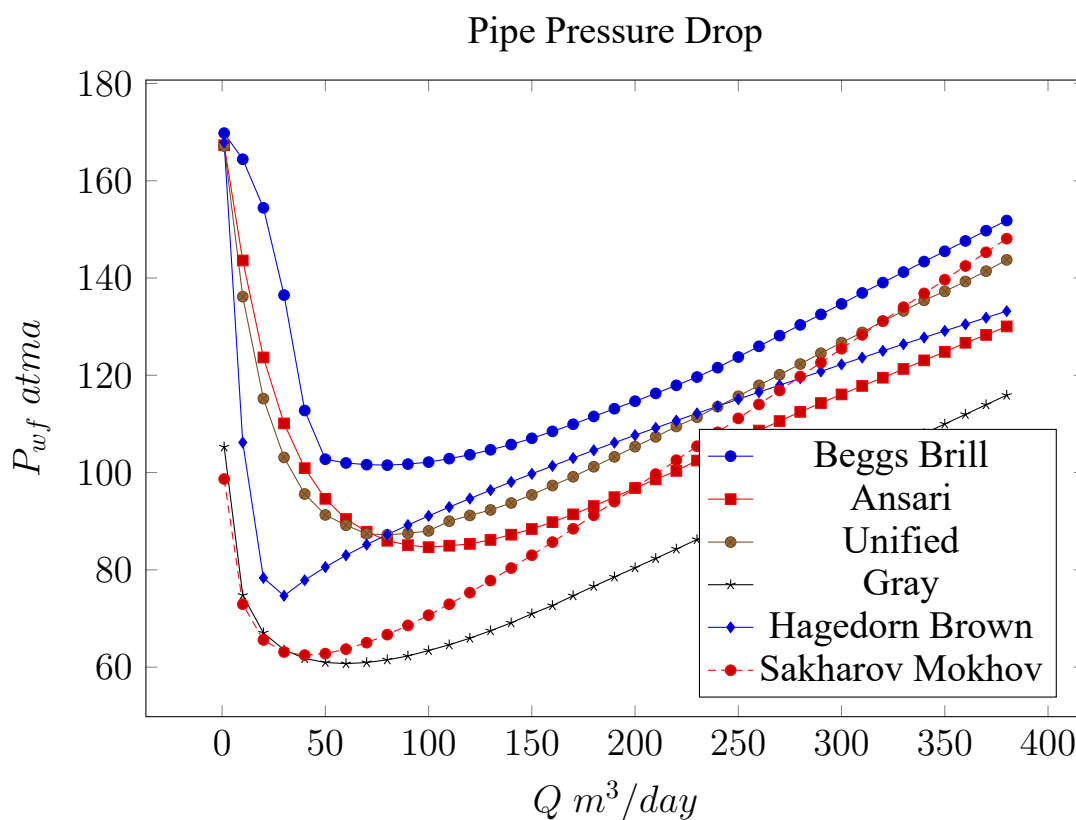


Рис. 3.7 — Кривые характеристики многофазного потока для вертикальных труб рассчитанные с использованием различных корреляций

3.4.1. MF_pipe_p_atma – функция расчета давления на конце трубы

```
' расчет распределения давления и температуры в трубопроводе
' с использованием многофазных корреляций
Public Function MF_pipe_p_atma( _
    ByVal p_calc_from_atma As Double, _
    ByVal t_calc_from_C As Double, _
    Optional ByVal construction As String = "", _
    Optional ByVal feed As String = "", _
    Optional ByVal t_model As String = "", _
    Optional ByVal calc_along_coord As Boolean = True, _
    Optional ByVal flow_along_coord As Boolean = True, _
    Optional ByVal param As String)
' p_calc_from_atma - давление с которого начинается расчет, атм
'                       граничное значение для проведения расчета
' t_calc_from_C - температура в точке где задано давление расчета
' feed          - параметры потока флюидов json строка. Используйте
'                       функцию encode_feed() для генерации
' construction - параметры конструкции json строка. Используйте
'                       функцию encode_pipe() для генерации
' t_model       - параметры температурной модели json строка.
'                       Используйте функцию encode_feed() для генерации
' calc_along_coord - направление расчета относительно координат.
' flow_along_coord - направление потока относительно координат.
' param         - дополнительные параметры расчета потока
' результат - число - давление на другом конце трубы atma.
'               и распределение параметров по трубе
```

Глава 4. Многофазный поток в пласте и призабойной зоне

4.1. 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 7.26 VBA используется линейная индикаторная кривая с поправкой Вогеля для учета разгазирования в призабойной зоне пласта с учетом обводненности [0].

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

$$PI = \frac{Q_{liq}}{P_{res} - P_{wf}} \quad (4.1)$$

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 4.1 либо по аналитической зависимости по характеристикам пласта и системы заканчивания. Например для радиального притока к вертикальной скважине широко известна формула Дюпюи согласно которой

$$PI = f \cdot \frac{kh}{\mu B} \frac{1}{\ln \frac{r_e}{r_w} + S} \quad (4.2)$$

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

Таблица 5 — Размерности параметров выражения 4.2

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	$\text{м}^3/\text{м}^3$	$\text{м}^3/\text{м}^3$	scf/bbl
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		

При снижении забойного давления добывающей скважины ниже давления насыщения, оценка дебита жидкости по закону Дарси оказывается завышенной. Газ выделяющийся в призабойной зоне пласта создает дополнительное гидравлическое сопротивление. В Unifloc 7.26 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 4.3.

$$PI = \frac{Q_{liq}}{P_{res} - P_b + \frac{P_b}{1.8} \left[1.0 - 0.2 \frac{P_{wf}}{P_b} - 0.8 \left(\frac{P_{wf}}{P_b} \right)^2 \right]} \quad (4.3)$$

При наличии обводненности зависимость усложняется.

В Unifloc 7.26 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 4.1.

Индикаторные кривые IPR

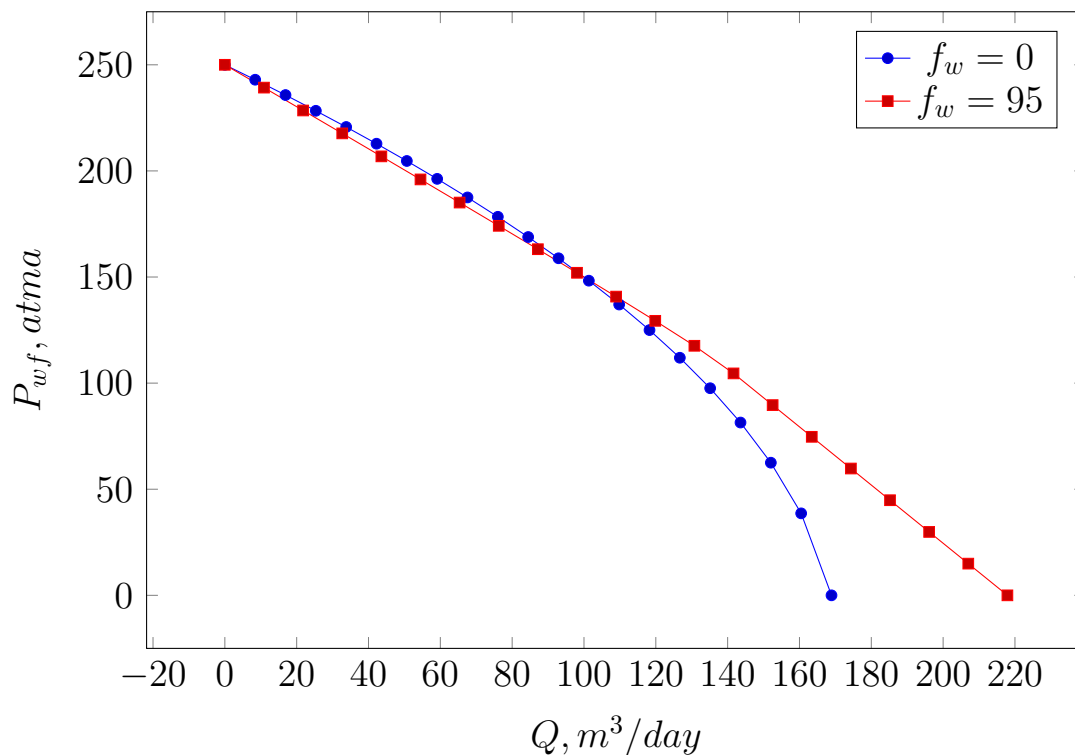


Рис. 4.1 — Сравнение индикаторных кривых для заданных тестовых параметров $Q_{liq} = 100$ и $P_{wf} = 150$ при наличии и отсутствии воды в потоке

4.1.1. IPR_pi_sm3dayatm – расчёт продуктивности

Функция позволяет рассчитать коэффициент продуктивности скважины по данным тестовой эксплуатации. Особенность линейной модели притока к скважине с поправкой Вогеля 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 pwf_test_atma As Double, _
    ByVal p_res_atma As Double, _
```



```

Optional ByVal fw_perc As Double = 0, _
Optional ByVal pb_atma As Double = -1)
' Qtest_sm3day    - тестовый дебит скважины, ст.м3/сут
' pwf_test_atma   - тестовое забойное давление, абс. атм
' p_res_atma      - пластовое давление, абс. атм
' fw_perc         - обводненность, %
' pb_atma         - давление насыщения, абс. атм
' результат      - значение коэффициента продуктивности, ст.м3/сут/атм

```

4.1.2. IPR_p_wf_atma – 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_p_wf_atma( _
    ByVal pi_sm3dayatm As Double, _
    ByVal p_res_atma As Double, _
    ByVal q_liq_sm3day As Double, _
    Optional ByVal fw_perc As Double = 0, _
    Optional ByVal pb_atma As Double = -1)
' pi_sm3dayatm    - коэффициент продуктивности, ст.м3/сут/атм
' p_res_atma      - пластовое давление, абс. атм
' q_liq_sm3day    - дебит жидкости скважины на поверхности, ст.м3/сут
' fw_perc         - обводненность, %
' pb_atma         - давление насыщения, абс. атм
' результат      - значение забойного давления, абс. атм

```

4.1.3. IPR_q_liq_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_q_liq_sm3day( _
    ByVal pi_sm3dayatm As Double, _
    ByVal p_res_atma As Double, _
    ByVal p_wf_atma As Double, _
    Optional ByVal fw_perc As Double = 0, _
    Optional ByVal pb_atma As Double = -1)
' pi_sm3dayatm    - коэффициент продуктивности, ст.м3/сут/атм
' p_res_atma     - пластовое давление, абс. атм
' p_wf_atma      - забойное давление, абс. атм
' fw_perc        - обводненность, %
' pb_atma        - давление насыщения, абс. атм
' результат      - значение дебита жидкости, ст.м3/сут

```

Глава 5. Старые функция расчёта технологического режима добывающих скважин

5.1. Технологический режим добывающих скважин

Одна из первых реализаций расчётных модулей Unifloc 7.26 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 `u_old_md1TecRegimes`

Для обеспечения обратной совместимости расчётов в Unifloc 7.26 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 `old_`. Листинги определений функций в описании не приводятся, кому интересно, лучше искать непосредственно в коде.

5.1.1. old_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. [0]

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 to]

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.

5.1.2. old_pwf_calc_p_intake_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 to]

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

5.1.3. old_Prpump_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.

5.1.4. old_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.

5.1.5. old_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 7.26 VBA реализующую аналогичную функциональность с меньшим набором допущений

Результат расчёта - абсолютное значение забойного давления.

5.1.6. old_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 7.26 VBA реализующую аналогичную функциональность с меньшим набором допущений

Результат расчёта - абсолютное значение забойного давления.

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.
- ρ_{air} – rho_air – плотность воздуха, относительная плотность газа γ_g считается по воздуху $\rho_{air} = 1.22 \text{ кг/м}^3$
- 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, $\text{м}^3/\text{м}^3$.
- R_p – Rp_m3m3 – замерной газовый фактор, $\text{м}^3/\text{м}^3$.
- P_b – Pb_atma – давление насыщения, атма.
- T_{res} – Tres_C – пластовая температура, °C.
- B_{ob} – Bob_m3m3 – объёмный коэффициент нефти, $\text{м}^3/\text{м}^3$.
- μ_o – mu_oil_cP – вязкость нефти, по воде.
- μ_{ob} – Muob_cP – вязкость нефти при давлении насыщения, сП.
- Q_{liq} – Qliq_scm3day – дебит жидкости измеренный на поверхности (приведенный к стандартным условиям), $\text{м}^3/\text{сут}$.
- f_w – fw_perc, fw_fr – объёмная обводненность (fraction of water), проценты или доли единиц.
- f_g – fg_perc, fg_fr – объёмная доля газа в потоке (fraction of gas), проценты или доли единиц.
- PI – pi_sm3dayatm – коэффициент продуктивности скважины, $\text{м}^3/\text{сут}/\text{атм}$

Словарь терминов

Словарь описывает термины и сокращения широко используемые в описании и в системе Unifloc 7.26 VBA.

VBA — Visual Basic for Application язык программирования встроенный в Excel и использованный для написания макросов Unifloc 7.26 VBA.

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

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

BHT, TBH — Bottom hole temperature. Забойная температура

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

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

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

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

ESP — Electrical submersible pump. Электрический центробежный насос.

GL — Gas Lift. Газлифтный способ эксплуатации добывающих скважин.

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

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

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

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

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

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

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

ЭЦН — Электрический центробежный насос.

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

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

Список литературы

0. *Хасанов М., Пашали А., Хабибуллин Р., Краснов В.* Оценка забойного давления механизированной скважины: теория и опыт применения // Научно-технический вестник ОАО НК Роснефть. — 2006. — Февр.
0. *Хасанов М., Байков В., Афанасьев В., Мухамедшин Р., Булгакова Г., Гладков А.* Стандарт компании ЮКОС. Физические свойства нефти. Методы расчета. — Уфа Москва, 2002. — 45 с.
0. *Хасанов М., Краснов В., Хабибуллин Р., Пашали А., Семенов А.* Метод интерпретации отжима динамического уровня с использованием современных подходов к расчету многофазного потока // Нефтяное хозяйство. — 2009. — Янв.
0. *Khasanov M., Krasnov V., Khabibullin R., Pashali A., Semenov A.* New Method for Fluid Level Depression Test Interpretation Based on Modern Multiphase Flow Calculation Techniques. // SPE 129562. — 2010. — DOI: <https://doi.org/10.2118/129562-MS>.
0. *Khasanov M., Krasnov V., Khabibullin R., Pashali A.* Monitoring and Optimization of Well Performance in Rosneft Oil Company—The Experience of the Unified Model Application for Multiphase Hydraulic Calculations // SPE 104359. — 2006. — DOI: <https://doi.org/10.2118/104359-RU>.
0. *Хабибуллин Р., Пашали А., Краснов В., Бикбулатов С., Еличев В., Михайлов В.* Оптимизация режима работы фонтанирующих скважин в НК «Роснефть» // Нефтяное хозяйство. — 2006. — Сент.
0. *Khasanov M., Krasnov V., Khabibullin R., Pashali A., Guk V., Litvinenko K., Elichev V., Prado M.* High GLR ESP technologies Comparison, Field Test Results // SPE 117414. — 2008. — DOI: <https://doi.org/10.2118/117414-RU>.
0. *Дроздов А., Вербицкий В., Деньгаев А., Арсеньев А., Литвиненко В., Хабибуллин Р., Литвиненко К., Еличев В.* Результаты исследований работы погружных центробежных газосепараторов при эксплуатации скважин ООО «РН-Пурнефтегаз» с высоким входным газосодержанием. Сравнение стендовых и промысловых испытаний // SPE 117415. — 2008. — DOI: <https://doi.org/10.2118/117415-RU>.

0. *Krasnov V., Khabibullin R., Pashali A., Guk V., Litvinenko K., Elichev V., Prado M.* Performance Analysis of ESP Systems in High-GLR Wells: From Lab Experiments to Practical Field Applicationss // SPE 120628. — 2009. — DOI: <https://doi.org/10.2118/120628-MS>.
0. *Кудряшов С., Хасанов М., Краснов В., Хабибуллин Р., Семенов А.* Шаблоны Применения Технологий – эффективный способ систематизации знаний. // Нефтяное хозяйство. — 2007. — Нояб.
0. *Хасанов М., Семенов А., Пашали А., Хабибуллин Р.* Подход к выбору оптимального способа эксплуатации скважин на примере Ванкорского месторождения. // Нефтяное хозяйство. — 2007. — Нояб.
0. *Шушаков А., Павлечко Н., Кибирев Е., Бурцев Я., Хабибуллин Р., Хазиев А., В.В. К.* Оптимизация работы газлифтного фонда скважин в условиях ЗАО Газпромнефть Оренбург с помощью нового расчетного модуля. // Нефтяное хозяйство. — 2015. — Дек.
0. *Lubnin A., Yudin E., Fazlytdinov R., Khabibullin R., Grishchenko E., Bovt A.* A New Approach of Gas Lift Wells Production Optimization on Offshore Fields // SPE-181903. — 2016. — DOI: <https://doi.org/10.2118/181903-RU>.
0. *PEH.* Produced water formation volume factor. — 2021. — URL: https://petrowiki.spe.org/Produced_water_formation_volume_factor (visited on 01/21/2021).
0. *McCain Jr. W.* Reservoir-Fluid Property Correlations-State of the Art (includes associated papers 23583 and 23594) // SPE Res Eng SPE-18571-PA. — 1991. — DOI: <https://doi.org/10.2118/18571-PA>.
0. *McCain W. J.* The Properties of Petroleum Fluids, second edition. — PennWell Books, 1990.
0. *PetroSkills.* Variation of Ideal Gas Heat Capacity Ratio with Temperature and Relative Density. — 2013. — URL: <http://www.jmcampbell.com/tip-of-the-month/2013/05/variation-of-ideal-gas-heat-capacity-ratio-with-temperature-and-relative-density/> (visited on 01/21/2021).
0. *Kareem L., Iwalewa T., Al-Marhoun M.* New explicit correlation for the compressibility factor of natural gas: linearized z-factor isotherms. // J Petrol Explor Prod. — 2016. — DOI: <https://doi.org/10.1007/s13202-015-0209-3>.
0. *PEH.* Gas viscosity. — 2021. — URL: http://petrowiki.org/Gas_viscosity (visited on 01/21/2021).

0. *Lee A., Gonzalez M., Eakin B.* The Viscosity of Natural Gases SPE-1340-PA // J Pet Technol. — 1966.
0. *Beggs H., Robinson J.* SPE-5434-PA Estimating the Viscosity of Crude Oil Systems // J Pet Technol. — 1975. — DOI: <http://dx.doi.org/10.2118/5434-PA>.
0. *PEH.* Oil viscosity. — 2021. — URL: https://petrowiki.spe.org/Oil_viscosity (visited on 01/21/2021).
0. *Vazquez M., Beggs H.* SPE-6719-PA Correlations for Fluid Physical Property Prediction // J Pet Technol. — 1980. — DOI: <http://dx.doi.org/10.2118/6719-PA>.
0. *PEH.* Oil System Correlations. — 2021. — URL: https://petrowiki.spe.org/PEH:Oil_System_Correlations (visited on 01/21/2021).
0. *PEH.* Oil System Correlations. Appendix table A-7 Undersaturated Oil Viscosity Correlations. — 2021. — URL: https://petrowiki.spe.org/File:Vol1_Page_329_Image_0001.png (visited on 01/21/2021).
0. *Standing M.* A Pressure-Volume-Temperature Correlation for Mixtures of California Oils and Gases // API Drilling and Production Practice. — 1947.
0. *PEH.* Oil System Correlations. Appendix table A-7 Dead Oil Viscosity Correlations. — 2021. — URL: https://petrowiki.spe.org/File:Vol1_Page_323_Image_0001.png (visited on 01/21/2021).
0. *Standing M.* Volumetric and Phase Behavior of Oil Field Hydrocarbon Systems, ninth edition. — Society of Petroleum Engineers of AIME, 1981.
0. *Valkó P., McCain W.* Reservoir oil bubblepoint pressures revisited; solution gas–oil ratios and surface gas specific gravities // Journal of Petroleum Science and Engineering. — 2003. — DOI: [https://doi.org/10.1016/S0920-4105\(02\)00319-4](https://doi.org/10.1016/S0920-4105(02)00319-4).
0. *Velarde J., Blasingame T., McCain W.* Correlation of Black Oil Properties At Pressures Below Bubble Point Pressure - A New Approach. // SPE Annual Technical Meeting, Calgary, Alberta, June 1997. — 1997. — DOI: <https://doi.org/10.2118/97-93>.
0. *Игневский В.* Исследование влияния газовой фазы на характеристику много-ступенчатого центробежного насоса при откачке газожидкостных смесей из скважин: дис. ... канд. тех. наук : 05.15.06. — М., 1977. — 190 с.
0. *Marquez R., Prado M.* A New Robust Model For Natural Separation Efficiency // SPE 80922-MS. — 2003. — DOI: <https://doi.org/10.2118/80922-MS>.

0. *Perkins T.* Critical and Sub-Critical Flow of Multiphase Mixtures Through Chokes // SPE 20633, SPE Drilling and Completion. — 1993. — DOI: <https://doi.org/10.2118/20633-PA>.
0. *Bratland O.* Pipe Flow 1. Single-phase flow assurance. — URL: <http://www.drbratland.com/free-book-pipe-flow-1-single-phase-flow-assurance/> (visited on 06/04/2020).
0. *Brown K.* The Technology of Artificial Lift Methods. Volume 4. Production Optimization of Oil and Gas Wells by Nodal System Analysis. — PennWell, 1984. — 464 p.
0. *Gabor T.* Electrical Submersible Pumps Manual. 2nd edition. — Elsevier, 2018. — 578 p. — DOI: [10.1016/B978-1-85617-557-9.X0001-2](https://doi.org/10.1016/B978-1-85617-557-9.X0001-2).
0. *Гридин В.* Расчет параметров и характеристик асинхронных двигателей. Методические указания к выполнению домашнего задания по курсу Электротехника и электроника. — URL: <http://wwwcdl.bmstu.ru/fn7/Gridin.pdf> (дата обр. 04.06.2020).
0. *Гридин В.* Расчет характеристик асинхронных двигателей по каталожным данным. // Электричество. — 2018. — Сент. — DOI: <http://dx.doi.org/10.24160/0013-5380-2018-9-44-48>.
0. Каталог продукции Новомет 2013 [Текст].

Приложение А

Автоматически сгенерированное описание

Далее следует описание расчётных функций Unifloc 7.26 VBA автоматически сгенерированное из исходного кода. Подробности по ключевым пользовательским функциям можно найти в описании выше. Автоматическое описание возможно будет более полным и актуальным пока продолжается разработка.

A.1. crv_fit_linear

```
'Аппроксимация данных линейной функцией.
'Решается задача  $\min |XM-Y|$  ищется вектор M
Public Function crv_fit_linear(YA, _
                               XA, _
                               Optional out As Long, _
                               Optional weight, _
                               Optional constraints)
' YA      - Y вектор исходных данных [0..N-1] (столбец или массив)
' XA      - x матрица исходных данных [0..N-1, 0..D-1]
'          (таблица или массив)
' out     - тип вывода,
'           out=0 (по умолчанию) коэффициенты аппроксимации [0..D-1],
'           out=1 код ошибки подбора аппроксимации
'           out=2 отчет по подбору аппроксимации,
'           AvgError, AvgRelError, MaxError, RMSError, TaskRCond.
' weight  - вектор весов [0..N-1] для каждого параметра
' constraints - матрица ограничений C [0..K-1, 0..D] такая что
'            $C[I,0]*M[0] + \dots + C[I,D-1]*M[D-1] = CMatrix[I,D]$ 
' результат
'           вектор M минимизирующий  $\min |XM-Y|$ 
```

A.2. crv_fit_poly

```
'Аппроксимация данных полиномом функцией.
'Решается задача  $\min |XM-Y|$  ищется вектор M
Public Function crv_fit_poly(YA As Variant, _
                             XA As Variant, _
                             M As Long, _
                             Optional out As Long, _
                             Optional XIA As Variant, _
                             Optional weight, _
                             Optional constraints)
' YA      - Y вектор исходных данных [0..N-1] (столбец или массив)
' XA      - X вектор исходных данных [0..N-1] (таблица или массив)
' M       - степень полинома для аппроксимации
```

```

' out    - тип вывода, out=0 (по умолчанию) значения полинома для XIA,
'          out=1 код ошибки аппроксимации
'          out=2 отчет по подбору аппроксимации,
'              AvgError, AvgRelError, MaxError, RMSError, TaskRCond.
' XIA    - X вектор значений для расчета аппроксимации [0..D-1]
' weight - вектор весов [0..N-1] для каждого параметра
' constraints - матрица ограничений C[0..K-1,0..2].
'          C[i,0] - значение x где задано ограничение
'          C[i,1] - величина ограничения,
'          C[i,2] - тип ограничения (0 -значение, 1 -производная)
' результат
'          вектор YIA значений полинома для XIA

```

A.3. crv_fit_spline_1D

```

'Поиск пересечений для кривых заданных таблицами.
'Используется линейная интерполяция.
'Возможно несколько решений.
Public Function crv_fit_spline_1D(XA As Variant, _
                                YA As Variant, _
                                M As Long, _
                                Optional XIA As Variant, _
                                Optional WA As Variant, _
                                Optional XCA As Variant, _
                                Optional YCA As Variant, _
                                Optional DCA As Variant, _
                                Optional hermite As Boolean = False)
' XA    - x значения исходных данных (строка значений или массив)
' YA    - y значения исходных данных (столбец значений или массив)
' M     - количество точек для сплайна интерполяции
'        должно быть четное для hermite = True
' XIA   - таблица выходных значений
'        столбец значений (x) или массив в возрастающем порядке
' если не заданы возвращаются кубические коэффициента для сегментов
' WA    - веса исходных данных
' XCA   - x значения матрицы ограничений (столбец или массив)
' YCA   - величина ограничения для заданного значения
'        (столбец или массив)
' DCA   - тип ограничения. 0 - значение, 1 - наклон.

```

```
'      (столбец или массив) .
'      если хоть одно из ограничений не задано - они не учитываются
' результат
'      значение функции для заданного XIA
```

A.4. 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.5. crv_interpolation_2D

```
' функция поиска значения функции по двумерным табличным данным
↪ (интерполяция 2D)
Function crv_interpolation_2D(XA As Variant, _
                             YA As Variant, _
                             FA As Variant, _
                             Optional XYIA As Variant, _
                             Optional out As Long = 1, _
                             Optional ByVal type_interpolation As Integer = 0)
    ↪ As Variant

' XA      - x значения исходных данных (строка значений или массив)
' YA      - y значения исходных данных (столбец значений или массив)
' FA      - табличные значения интерполируемой функции,
'           двумерная таблица или массив
' XYIA    - таблица значений для которой надо найти результат
'           два столбца значений (x,y) или массив с двумя колонками
'           если не заданы возвращаются кубические коэффициента
'           для каждого сегмента
' out     - для интерполяции кубическими сплайнами
'           out = 0 возвращаются только значения
'           out = 1 возвращаются значения и производные
' type_interpolation - тип интерполяции
'               0 - линейная интерполяция
'               1 - кубическая интерполяция
' результат
'           значение функции для заданного XYIA
```

A.6. 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.7. `crv_parametric_interpolation`

```

' интерполяция функции заданной параметрически
' параметр номер значения
Public Function crv_parametric_interpolation(x_points, y_points, x_val,
↳ _
                                Optional ByVal type_interpolation As Integer = 0,
                                ↳ _
                                Optional param_points = -1)
' 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 сплайн Катмулла Рома
'
' https://en.wikipedia.org/wiki/Cubic\_Hermite\_spline
' результат
'
' значение функции для заданного x_val

```

A.8. 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.9. decode_json

```
' Функция декодирования json строки,
' позволяет вывести содержимое json строки в таблицу
Public Function decode_json(json, _
                        Optional transpose As Boolean = False, _
                        Optional keys_filter, _
                        Optional only_values As Boolean = False)
' json      - строка содержащая результаты расчета
' transpose - выбор вывода в строки или в столбцы
' keys_filter - строка с ключами, которые надо вывести
' only_values - если = 1 подписи выводиться не будут
' результат - закодированная строка
```

A.10. Ei

```
' Расчет интегральной показательной функции Ei(x)
Function Ei(ByVal x As Double)
' x      - аргумент функции, может быть и положительным и отрицательным
' результат - значение функции
```

A.11. encode_ambient_formation_string

```

' функция кодирования температурных параметров окружающей среды
Public Function encode_ambient_formation_string( _
    Optional ByVal therm_cond_form_WmC As Double = 2.4252, _
    Optional ByVal sp_heat_capacity_form_JkgC As Double = 200, _
    Optional ByVal therm_cond_cement_WmC As Double = 6.965, _
    Optional ByVal therm_cond_tubing_WmC As Double = 32, _
    Optional ByVal therm_cond_casing_WmC As Double = 32, _
    Optional ByVal heat_transfer_casing_liquid_Wm2C As Double = 200, _
    Optional ByVal heat_transfer_casing_gas_Wm2C As Double = 10, _
    Optional ByVal heat_transfer_fluid_convection_Wm2C As Double = 200,
    ↪ _
    Optional ByVal t_calc_hr As Double = 240)
' therm_cond_form_WmC - теплопроводность породы окружающей среды
' sp_heat_capacity_form_JkgC - удельная теплоемкость породы окружающей
↪ среды
' therm_cond_cement_WmC - теплопроводность цементного камня вокруг
↪ скважины
' therm_cond_tubing_WmC - теплопроводность стенок НКТ
' heat_transfer_casing_liquid_Wm2C - теплопередача через затруб
↪ с жидкостью
' heat_transfer_casing_gas_Wm2C - теплопередача через затруб с газом
' heat_transfer_fluid_convection_Wm2C - теплопередача в потоке
'                                     с жидкостью за счет конвекции
' t_calc_hr - время на которое рассчитывается распределение температуры
'

```

A.12. encode_ESP_cable_string

```

' функция кодирования параметров
' кабельной линии ПЭД в строку
Public Function encode_ESP_cable_string( _
    Optional ByVal cable_R_Omkm As Double, _
    Optional ByVal cable_X_Omkm As Double, _
    Optional ByVal cable_t_max_C As Double, _
    Optional ByVal manufacturer As String = "no", _
    Optional ByVal name As String = "no", _
    Optional ByVal d_mm As Double, _
    Optional ByVal length_m As Double)
' cable_R_Omkm - удельное активное сопротивление

```



```
' cable_X_Omkm - удельное реактивное сопротивление
' cable_t_max_C - максимально допустимая температура
' manufacturer - производитель, для справки
' name - название кабеля, для справки
' d_mm - диаметр жилы
' length_m - длина кабельной линии, м
```

A.13. encode_ESP_motor_string

```
' функция кодирования параметров ПЭД в строку
Public Function encode_ESP_motor_string( _
    Optional ByVal motor_ID As Long = 0, _
    Optional ByVal U_surf_high_lin_V As Double, _
    Optional ByVal f_surf_Hz As Double, _
    Optional ByVal power_fact_kW As Double, _
    Optional ByVal U_nom_lin_V As Double, _
    Optional ByVal P_nom_kW As Double, _
    Optional ByVal f_nom_Hz As Double, _
    Optional ByVal eff_nom_fr As Double, _
    Optional ByVal cosphi_nom_fr As Double, _
    Optional ByVal slip_nom_fr As Double, _
    Optional ByVal d_od_mm As Double, _
    Optional ByVal Lambda As Double, _
    Optional ByVal alpha0 As Double, _
    Optional ByVal xi0 As Double, _
    Optional ByVal Ixcf As Double)

'motor_ID - тип 0 - постоянные значения,
'           1 - задается по каталожным кривым, асинхронный
'           2 - задается по схеме замещения, асинхронный
'U_surf_high_lin_V - напряжение на поверхности
'                   на высокой стороне трансформатора
'f_surf_Hz - частота питающего напряжения
'U_nom_lin_V - номинальное напряжение двигателя, линейное, В
'P_nom_kW - номинальная мощность двигателя кВт
'f_nom_Hz - номинальная частота тока, Гц
'eff_nom_fr - КПД при номинальном режиме работы
'cosphi_nom_fr - коэффициент мощности при номинальном режиме работы
'slip_nom_fr - скольжение при номинальном режиме работы
'd_od_mm - внешний диаметр - габарит ПЭД
```

```
'lambda - для motorID = 2 перегрузочный коэффициент
'
'         отношение макс момента к номинальному
'alpha0 - параметр. влияет на положение макс КПД.для motorID = 2
'xi0 - параметр. определяет потери момента при холостом ходе.
'
'         для motorID = 2
'Ixsf - поправка на поправку тока холостого хода
'
'         при изменении напряжения и частоты от минимальной.
```

A.14. encode_ESP_pump_string

```
' функция кодирования параметров работы УЭЦН в строку
Public Function encode_ESP_pump_string( _
    Optional ByVal ESP_ID As Long = "1005", _
    Optional ByVal head_nom_m As Double = 2000, _
    Optional ByVal num_stages As Integer = 0, _
    Optional ByVal freq_Hz As Double = 50, _
    Optional ByVal gas_correct, _
    Optional ByVal c_calibr, _
    Optional ByVal dnum_stages_integrate = 1)

' esp_ID          - идентификатор насоса
' head_nom_m      - номинальный напор системы УЭЦН
'
'                 - соответствует напора в записи ЭЦН 50-2000
' num_stages      - количество ступеней, если задано
'
'                 - перекрывает значение напора
' freq_Hz         - частота, Гц
' t_intake_C      - температура на приеме насоса
' t_dis_C         - температура на выкиде насоса.
'
'                 - если = 0 и calc_along_flow = 1 то рассчитывается
' gas_correct     - деградация по газу:
'
'                 0 - 2 задает значение вручную;
'                 10 стандартный ЭЦН (предел 25%);
'                 20 ЭЦН с газостабилизирующим модулем (предел 50%);
'                 30 ЭЦН с осевым модулем (предел 75%);
'                 40 ЭЦН с модифицированными ступенями (предел 40%).
'
'                 110+, тогда модель n-100 применяется ко всем ступеням отдельно
'
'                 Предел по доле газа на входе в насос после сепарации
'                 на основе статьи SPE 117414 (с корректировкой)
'                 поправка дополнительная к деградации (суммируется).
' c_calibr        - коэффициент поправки на напор.
```

```
'      если массив то второе значение - поправка на подачу (множитель)
'      третье на мощность (множитель)
' dnum_stages_integrate - шаг интегрирования для расчета
' результат             - строка с параметрами УЭЦН
```

A.15. encode_ESP_separation_string

```
' функция кодирования газосепаратора
Public Function encode_ESP_separation_string( _
    Optional ByVal separation_mode As String, _
    Optional ByVal gassep_type As Long, _
    Optional ByVal natsep_type As Long = 0, _
    Optional ByVal psep_man_atma As Double, _
    Optional ByVal tsep_man_C As Double, _
    Optional ByVal ksep_gasep_man_d As Double, _
    Optional ByVal ksep_nat_man_d As Double, _
    Optional ByVal ksep_liquid_man_d As Double, _
    Optional ByVal M_Nm As Double, _
    Optional ByVal manufacturer As String = "no", _
    Optional ByVal name As String = "no", _
    Optional ByVal length_m As Double)
' separation_mode - режим расчета сепарации
' gassep_type - тип - номер из базы
' natsep_type - модель расчета естественной сепарации
' psep_man_atma - давление для расчета
'
'               коэффициента сепарации заданного вручную
' tsep_man_C - температура для расчета
'
'               коэффициента сепарации заданного вручную
' ksep_gasep_man_d - коэффициент сепарации ГС заданный вручную
' ksep_nat_man_d - коэффициент сепарации натуральной
'
'               заданный вручную
' ksep_liquid_man_d - коэффициент сепарации жидкости для режима
'
'               потока через затруб
' M_Nm - момент на валу
' manufacturer - производитель, для справки
' name - название кабеля, для справки
' length_m - длина кабельной линии, м
```

A.16. encode_feed

```
'Функция кодирования параметров потока флюидов в строку,
Public Function encode_feed( _
    Optional ByVal q_liq_sm3day As Double = 10, _
    Optional ByVal fw_perc As Double = -1, _
    Optional ByVal rp_m3m3 As Double = -1, _
    Optional ByVal q_gas_free_sm3day As Double = -1, _
    Optional ByVal fluid As String = PVT_DEFAULT)
' q_liq_sm3day - дебит жидкости в ст.условиях.
' fw_perc      - ободненность, %
' rp_m3m3      - газовый фактор, м3/м3:
' q_gas_free_sm3day - расход свободного газа, ст. м3/сут
'
' результат - закодированная строка
```

A.17. encode_json

```
' функция кодирования диапазона ячеек в json строку
Public Function encode_json(rng, _
    Optional always_collection As Boolean = False)
' rng      - диапазон ячеек для кодирования
' результат - закодированная строка
```

A.18. encode_PVT

```
' Функция кодирования параметров PVT в строку,
' для передачи PVT свойств в прикладные функции Унифлок.
Public Function encode_PVT( _
    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 pb_atma, _
Optional ByVal t_res_C, _
Optional ByVal bob_m3m3, _
Optional ByVal muob_cP, _
Optional ByVal PVT_corr_set _
)

' gamma_gas - удельная плотность газа, по воздуху.
'           По умолчанию const_gg_ = 0.6
' gamma_oil - удельная плотность нефти, по воде.
'           По умолчанию const_go_ = 0.86
' gamma_wat - удельная плотность воды, по воде.
'           По умолчанию const_gw_ = 1
' rsb_m3m3  - газосодержание при давлении насыщения, м3/м3.
'           По умолчанию const_rsb_default = 100
' rp_m3m3  - замерной газовый фактор, м3/м3.
'           Имеет приоритет перед rsb если rp < rsb
' pb_atma  - давление насыщения при температуре t_res_C, атма.
'           Опциональный калибровочный параметр,
'           если не задан или = 0, то рассчитывается по корреляции.
' t_res_C  - пластовая температура, С.
'           Учитывается при расчете давления насыщения.
'           По умолчанию const_tres_default = 90
' bob_m3m3 - объемный коэффициент нефти при давлении насыщения
'           и пластовой температуре, м3/м3.
'           По умолчанию рассчитывается по корреляции.
' muob_cP  - вязкость нефти при давлении насыщения.
'           и пластовой температуре, сП.
'           По умолчанию рассчитывается по корреляции.
' PVT_corr_set - номер набора PVT корреляций для расчета:
'           0 - на основе корреляции Стендинга;
'           1 - на основе кор-ии Маккейна;
'           2 - на основе упрощенных зависимостей.
' результат - закодированная строка

```

A.19. encode_t_model

```

' кодирование параметров температурной модели трубы/скважины
Public Function encode_t_model(Optional t_model As TEMP_CALC_METHOD =
    ↪ StartEndTemp, _
                                Optional t_list_C As Variant = 50, _
                                Optional t_start_C As Double = -100, _
                                Optional t_end_C As Double = -100, _
                                Optional param As String = "")
' t_model    - номер температурной модели
' t_list_C   - массив n*2 распределения температуры
' t_start_C  - температура в начале трубы
' t_end_C    - температура в конце трубы
' param      - параметры температурной модели
'
'            список параметров в мануале

```

A.20. encode_well_construction_string

```

' функция кодирования параметров работы скважины с газлифтом
Public Function encode_well_construction_string( _
    ByVal h_perf_m As Double, _
    ByVal h_tub_m As Double, _
    ByVal h_list_m As Variant, _
    ByVal d_tub_list_mm As Variant, _
    ByVal d_cas_list_mm As Variant, _
    Optional ByVal d_choke_mm As Double, _
    Optional ByVal t_val_C As Variant, _
    Optional ByVal rough_m As Double = 0.0001)
'h_perf_m - глубина перфорации по длине скважины
'
'         точка узлового анализа для забоя
'h_tub_m - глубина спуска НКТ, или глубина
'
'         спуска ЭЦН
'h_list_m - траектория скважины, если число то измеренная
'
'         длина, range или таблица [0..N,0..1] то траектория
'd_tub_list_mm - диаметр НКТ. range или таблица [0..N,0..1]
'd_cas_list_mm - диаметр эксп колонны.
'
'         range или таблица [0..N,0..1]
'd_choke_mm - диаметр штуцера
't_val_C    - температура вдоль скважины
'
'         если число то температура на устье скважины
'
'         если range или таблица [0..N,0..1] то температура

```

```
'           окружающей среды по вертикальной глубине, С
'rough_m    - шероховатость трубы
' результат  - строка с закодированными параметрами
```

A.21. 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 As Long = 737, _
    Optional ByVal mu_cSt As Double = -1, _
    Optional ByVal c_calibr = 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
' c_calibr   - коэффициент поправки на напор.
'           если массив то второе значение - поправыка на подачу
↪ (множитель)
'           третье на мощность (множитель)
```

A.22. 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 As Long, _
```

```

        Optional ByVal mu_cSt As Double = -1, _
        Optional ByVal c_calibr = 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, сСт;
' c_calibr    - коэффициент поправки на напор.
'              если массив то второе значение - поправыка на подачу
↪ (множитель)
'              третье на мощность (множитель)

```

A.23. 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 номинального дебита.
' насосы подобраны вручную из текущей базы.
' Q - номинальный дебит

```

A.24. ESP_name

```

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

```


A.25. 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 As Long) As Double
' freq_Hz    - частота вращения ЭЦН
' pump_id    - идентификатор насоса в базе данных
```

A.26. 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 As Long = 737, _
    Optional ByVal mu_cSt As Double = -1, _
    Optional ByVal c_calibr = 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
' c_calibr   - коэффициент поправки на напор.
'             если массив то второе значение - поправыка на подачу
↔ (множитель)
'             третье на мощность (множитель)
```

A.27. ESP_rate_max_sm3day

```
' максимальный дебит ЭЦН для заданной частоты
' по номинальной кривой РНХ
Public Function ESP_rate_max_sm3day( _
    Optional ByVal freq_Hz As Double = 50, _
    Optional ByVal pump_id As Long, _
    Optional ByVal mu_cSt As Double = -1) As Double
' freq_Hz    - частота вращения ЭЦН
' pump_id    - идентификатор насоса в базе данных
```

A.28. E_1

```
' Расчет интегральной показательной функции  $E_1(x)$ 
' для вещественных положительных  $x$ ,  $x > 0$  верно  $E_1(x) = -Ei(-x)$ 
Function E_1(ByVal x As Double)
' x - аргумент функции, может быть и положительным и отрицательным
' результат - значение функции
```

A.29. feed_calc

```
' функция расчета параметров потока
Public Function feed_calc( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal feed As String, _
    Optional ByVal param As String = "")
' p_atma    - давление, атм
' t_C       - температура, С.
' feed - параметры потока флюидов, дебит, обводненность и пр
'          используйте encode_feed для генерации
' param     - параметры расчета и вывода результатов
```

```
' результат - массив всех расчетных значений,
'               с подписями во второй строке
```

A.30. feed_CJT_Katm

```
' функция расчета коэффициента Джоуля Томсона
Public Function feed_CJT_Katm( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal feed As String, _
    Optional ByVal param As String = "")
' p_atma      - давление, атм
' t_C         - температура, С.
' feed - параметры потока флюидов, дебит, обводненность и пр
'           используйте encode_feed для генерации
' param       - параметры расчета и вывода результатов
' результат  - массив, значение коэффициента Джоуля Томсона потока,
'             подпись, и лог расчета если подключен
```

A.31. feed_gas_fraction_d

```
' функция расчета коэффициента Джоуля Томсона
Public Function feed_gas_fraction_d( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal feed As String, _
    Optional ByVal param As String = "", _
    Optional ByVal ksep_add_fr As Double = 0)
' p_atma      - давление, атм
' t_C         - температура, С.
' feed - параметры потока флюидов, дебит, обводненность и пр
'           используйте encode_feed для генерации
' param       - параметры расчета и вывода результатов
' ksep_add_fr - коэффициент сепарации газа из потока
```

```
' результат - массив, значение коэффициента Джоуля Томсона потока,
'                подпись, и лог расчета если подключен
```

A.32. feed_mod_mix

```
' функция расчета свойств разделенного потока флюидов
Public Function feed_mod_mix( _
    ByVal feed_1 As String, _
    ByVal feed_2 As String, _
    Optional ByVal param As String = "")
' k_sep      - коэффициент сепарации газа
' p_atma     - давление, атм
' t_C        - температура, С.
' feed - параметры потока флюидов, дебит, обводненность и пр
'           используйте encode_feed для генерации
' param      - параметры расчета и вывода результатов
' результат  - массив, расход ГЖС в рабочих условиях,
'           подпись, и лог расчета если подключен
```

A.33. feed_mod_separate_gas

```
' функция расчета свойств потока после сепарации газа
Public Function feed_mod_separate_gas( _
    ByVal k_sep As Double, _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal feed As String, _
    Optional ByVal param As String = "")
' k_sep      - коэффициент сепарации газа
' p_atma     - давление, атм
' t_C        - температура, С.
' feed - параметры потока флюидов, дебит, обводненность и пр
'           используйте encode_feed для генерации
' param      - параметры расчета и вывода результатов
```

```
' результат - массив, расход ГЖС в рабочих условиях,
'                подпись, и лог расчета если подключен
```

A.34. feed_mod_split

```
' функция расчета свойств разделенного потока флюидов
Public Function feed_mod_split( _
    ByVal k_sep_gas As Double, _
    ByVal k_sep_oil As Double, _
    ByVal k_sep_wat As Double, _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal feed As String, _
    Optional ByVal param As String = "")
' k_sep_gas - коэффициент сепарации газа
' k_sep_oil - коэффициент сепарации газа
' k_sep_wat - коэффициент сепарации газа
' p_atma    - давление, атм
' t_C       - температура, С.
' feed - параметры потока флюидов, дебит, обводненность и пр
'                используйте encode_feed для генерации
' param     - параметры расчета и вывода результатов
' результат - массив, расход ГЖС в рабочих условиях,
'                подпись, и лог расчета если подключен
```

A.35. feed_mu_mix_cP

```
' функция расчета плотности газо жидкостной смеси (ГЖС)
Public Function feed_mu_mix_cP( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal feed As String, _
    Optional ByVal param As String = "")
' p_atma    - давление, атм
```

```
' t_C          - температура, С.
' feed - параметры потока флюидов, дебит, обводненность и пр
'          используйте encode_feed для генерации
' param      - параметры расчета и вывода результатов
' результат  - массив, расход ГЖС в рабочих условиях,
'              подпись, и лог расчета если подключен
```

A.36. feed_p_gas_fraction_atma

```
' расчет давления при котором
' достигается заданная доля газа в потоке
Public Function feed_p_gas_fraction_atma( _
    ByVal free_gas_d As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal feed As String, _
    Optional ByVal param As String = "", _
    Optional ByVal ksep_add_fr As Double = 0)
' free_gas_d - допустимая доля газа в потоке;
' t_C        - температура, С.
' feed - параметры потока флюидов, дебит, обводненность и пр
'          используйте encode_feed для генерации
' param      - параметры расчета и вывода результатов
' ksep_add_fr - коэффициент сепарации газа из потока
' результат  - массив, число - давление,
'              подпись, и лог расчета если подключен
```

A.37. feed_q_mix_rc_m3day

```
' функция расчета расхода газо жидкостной смеси (ГЖС)
Public Function feed_q_mix_rc_m3day( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal feed As String, _
    Optional ByVal param As String = "")
```

```

' p_atma      - давление, атм
' t_C         - температура, С.
' feed - параметры потока флюидов, дебит, обводненность и пр
'
'             используйте encode_feed для генерации
' param       - параметры расчета и вывода результатов
' результат   - массив, расход ГЖС в рабочих условиях,
'
'             подпись, и лог расчета если подключен

```

A.38. feed_rho_mix_kgm3

```

' функция расчета плотности газо жидкостной смеси (ГЖС)
Public Function feed_rho_mix_kgm3( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal feed As String, _
    Optional ByVal param As String = "")
' p_atma      - давление, атм
' t_C         - температура, С.
' feed - параметры потока флюидов, дебит, обводненность и пр
'
'             используйте encode_feed для генерации
' param       - параметры расчета и вывода результатов
' результат   - массив, расход ГЖС в рабочих условиях,
'
'             подпись, и лог расчета если подключен

```

A.39. feed_rp_gas_fraction_m3m3

```

' расчет газового фактора
' при котором достигается заданная доля газа в потоке
Public Function feed_rp_gas_fraction_m3m3( _
    ByVal free_gas_d As Double, _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal feed As String, _
    Optional ByVal param As String = "", _

```

```

Optional ByVal ksep_add_fr As Double = 0)
' free_gas_d - допустимая доля газа в потоке;
' t_C        - температура, С.
' feed - параметры потока флюидов, дебит, обводненность и пр
'          используйте encode_feed для генерации
' param      - параметры расчета и вывода результатов
' ksep_add_fr - коэффициент сепарации газа из потока
' результат  - массив, число - давление,
'              подпись, и лог расчета если подключен

```

A.40. GLV_p_atma

```

' функция расчета давления на входе или на выходе
' газлифтного клапана (простого) при закачке газа.
' результат массив значений и подписей
Public Function GLV_p_atma(ByVal d_mm As Double, _
                          ByVal p_calc_atma As Double, _
                          ByVal q_gas_sm3day As Double, _
                          Optional ByVal gamma_g As Double = 0.6, _
                          Optional ByVal t_C As Double = 25, _
                          Optional ByVal calc_along_flow As Boolean =
                              ↪ False, _
                          Optional ByVal p_open_atma As Double = 0, _
                          Optional ByVal c_calibr As Double = 1)
' d_mm          - диаметр клапана, мм
' p_calc_atma   - давление на входе (выходе) клапана, атма
' q_gas_sm3day  - расход газа, ст. м3/сут
' gamma_g       - удельная плотность газа
' t_C           - температура в точке установки клапана
' calc_along_flow - направление расчета:
'                  0 - против потока (расчет давления на входе);
'                  1 - по потоку (расчет давления на выходе).
' p_open_atma   - давление открытия/закрытия клапана, атм
' c_calibr      - коэффициент калибровки

```


A.41. GLV_q_gas_sm3day

```
' функция расчета расхода газа через газлифтный клапан/штуцер
' результат массив значений и подписей
Public Function GLV_q_gas_sm3day(ByVal d_mm As Double, _
                                ByVal p_in_atma As Double, _
                                ByVal p_out_atma As Double, _
                                ByVal gamma_g As Double, _
                                ByVal t_C As Double, _
                                Optional ByVal c_calibr As Double = 1)
' d_mm          - диаметр основного порта клапана, мм
' p_in_atma     - давление на входе в клапан (затруб), атма
' p_out_atma    - давление на выходе клапана (НКТ), атма
' gamma_g       - удельная плотность газа
' t_C           - температура клапана, С
```

A.42. GL_decode_string

```
' функция расшифровки параметров газлифтной компоновки скважины
'Public Function GL_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 CESPsystem
'              - если задать True - функция раскодирует строку и снова закодирует
'              - и выдаст строку (можно использовать из листа)
' результат - объект CESPsystem
```

A.43. GL_encode_string

```
' функция кодирования параметров работы скважины с газлифтом
'Public Function GL_encode_string( _
```

```

'           Optional q_gas_inj_sm3day As Double = 0, _
'           Optional p_gas_inj_atma As Double = 0, _
'           Optional d_gas_inj_mm As Double = 0, _
'           Optional HmesGLV_m = 0, _
'           Optional dGLV_mm = 0, _
'           Optional PsurfGLV_atma = 0)
'' q_gas_inj_sm3day - расход газа закачки
'' p_gas_inj_atma - давление газа закачки на поверхности
'' d_gas_inj_mm - диаметр штуцера регулировки закачки газа на
↪ поверхности
'' HmesGLV_m      - измеренные глубины установки газлифтных клапанов
'' dGLV_mm        - диаметры порта установленных газлифтных клапанов
'' PsurfGLV_atma - давления зарядки газлифтных клапанов
'' результат      - строка с закодированными параметрами

```

A.44. IPR_pi_sm3dayatm

```

' расчет коэффициента продуктивности пласта
' по данным тестовой эксплуатации
Public Function IPR_pi_sm3dayatm( _
    ByVal Qtest_sm3day As Double, _
    ByVal pwf_test_atma As Double, _
    ByVal p_res_atma As Double, _
    Optional ByVal fw_perc As Double = 0, _
    Optional ByVal pb_atma As Double = -1)
' Qtest_sm3day - тестовый дебит скважины, ст.м3/сут
' pwf_test_atma - тестовое забойное давление, абс. атм
' p_res_atma    - пластовое давление, абс. атм
' fw_perc       - обводненность, %
' pb_atma       - давление насыщения, абс. атм
' результат     - значение коэффициента продуктивности, ст.м3/сут/атм

```

A.45. IPR_p_wf_atma

```
' расчет забойного давления по дебиту и продуктивности
Public Function IPR_p_wf_atma( _
    ByVal pi_sm3dayatm As Double, _
    ByVal p_res_atma As Double, _
    ByVal q_liq_sm3day As Double, _
    Optional ByVal fw_perc As Double = 0, _
    Optional ByVal pb_atma As Double = -1)
' pi_sm3dayatm - коэффициент продуктивности, ст.м3/сут/атм
' p_res_atma   - пластовое давление, абс. атм
' q_liq_sm3day - дебит жидкости скважины на поверхности, ст.м3/сут
' fw_perc      - обводненность, %
' pb_atma      - давление насыщения, абс. атм
' результат    - значение забойного давления, абс. атм
```

A.46. IPR_q_liq_sm3day

```
' расчет дебита по давлению и продуктивности
Public Function IPR_q_liq_sm3day( _
    ByVal pi_sm3dayatm As Double, _
    ByVal p_res_atma As Double, _
    ByVal p_wf_atma As Double, _
    Optional ByVal fw_perc As Double = 0, _
    Optional ByVal pb_atma As Double = -1)
' pi_sm3dayatm - коэффициент продуктивности, ст.м3/сут/атм
' p_res_atma   - пластовое давление, абс. атм
' p_wf_atma    - забойное давление, абс. атм
' fw_perc      - обводненность, %
' pb_atma      - давление насыщения, абс. атм
' результат    - значение дебита жидкости, ст.м3/сут
```

A.47. MF_choke_calibr

```
' расчет корректирующего фактора (множителя) модели штуцера под замеры
' медленный расчет - калибровка подбирается
Public Function MF_choke_calibr( _
    ByVal feed As String, _
    ByVal d_choke_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 t_choke_C As Double = 20, _
    Optional ByVal param As String = "")

' feed          - закодированная строка с параметрами потока.
' d_choke_mm     - диаметр штуцера (эффективный), мм
' p_in_atma      - давление на входе (высокой стороне)
' p_out_atma     - давление на выходе (низкой стороне)
' d_pipe_mm     - диаметр трубы до и после штуцера, мм
' t_choke_C      - температура, С.
' param         - параметры расчета json строка
' результат     - число - калибровочный коэффициент для модели.
'               - штуцера - множитель на дебит через штуцер
```

A.48. MF_choke_calibr_fast

```
' расчет корректирующего фактора (множителя) модели штуцера под замеры
' быстрый расчет - калибровка вычисляется
Public Function MF_choke_calibr_fast( _
    ByVal feed As String, _
    ByVal d_choke_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 t_choke_C As Double = 20, _
    Optional ByVal param As String = "")

' feed          - закодированная строка с параметрами потока.
' d_choke_mm     - диаметр штуцера (эффективный), мм
```

```

' p_in_atma      - давление на входе (высокой стороне)
' p_out_atma     - давление на выходе (низкой стороне)
' d_pipe_mm      - диаметр трубы до и после штуцера, мм
' t_choke_C      - температура, С.
' param          - параметры расчета json строка
' результат      - число - калибровочный коэффициент для модели.
'                штуцера - множитель на дебит через штуцер

```

A.49. MF_choke_p_atma

```

' расчет давления в штуцере (дресселе)
Public Function MF_choke_p_atma( _
    ByVal d_choke_mm As Double, _
    ByVal feed As String, _
    ByVal p_calc_from_atma As Double, _
    Optional ByVal t_choke_C As Double = 20, _
    Optional ByVal d_pipe_mm As Double = 70, _
    Optional ByVal calc_along_flow As Boolean = True, _
    Optional ByVal param As String = "")
' d_choke_mm      - диаметр штуцера (эффективный)
' feed            - закодированная строка с параметрами потока.
' p_calc_from_atma - давление с которого начинается расчет, атм
'                граничное значение для проведения расчета
'                либо давление на входе, либо на выходе
' t_choke_C       - температура потока, С.
' d_pipe_mm       - диаметр трубы до и после штуцера
' calc_along_flow - флаг направления расчета относительно потока
' param           - параметры расчета json строка
' результат       - число - массив значений с параметрами штуцера
'                и давление на штуцере на расчетной стороне.

```

A.50. MF_choke_q_sm3day

```
' расчет давления в штуцере
Public Function MF_choke_q_sm3day( _
    ByVal feed As String, _
    ByVal d_choke_mm As Double, _
    ByVal p_in_atma As Double, _
    ByVal p_out_atma As Double, _
    Optional ByVal t_choke_C = 20, _
    Optional ByVal d_pipe_mm As Double = 70, _
    Optional ByVal param As String = "")
' feed          - закодированная строка с параметрами потока.
' d_choke_mm     - диаметр штуцера (эффективный)
' p_in_atma      - давление на входе в штуцер, атм.
'               - высокая сторона
' p_out_atma     - давление на выходе из штуцера, атм.
'               - низкая сторона
' t_choke_C      - температура потока, С.
' d_pipe_mm      - диаметр трубы до и после штуцера
' param          - параметры расчета json строка
' результат      - число - массив значений с параметрами штуцера
'               - и давление на штуцере на расчетной стороне.
```

A.51. 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 rho_lrc_kgm3 As Double = const_go_ * 1000, _
    Optional ByVal rho_grc_kgm3 As Double = const_gg_ * const_rho_air, _
    Optional ByVal eps_m As Double = 0.0001, _
```

```

Optional ByVal theta_deg As Double = 90, _
Optional ByVal hcorr As Integer = 1, _
Optional ByVal param_out As Integer = 0, _
Optional ByVal c_calibr_grav As Double = 1, _
Optional ByVal c_calibr_fric As Double = 1)
' расчет градиента давления по одной из корреляций
' 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
' rho_lrc_kgm3 - плотность нефти
' rho_grc_kgm3 - плотность газа
' eps_m - шероховатость
' theta_deg - угол от горизонтали
' hcorr - тип корреляции
' param_out - параметр для вывода
' c_calibr_grav - калибровка гравитации
' c_calibr_fric - калибровка трения

```

A.52. MF_pipe_p_atma

```

' расчет распределения давления и температуры в трубопроводе
' с использованием многофазных корреляций
Public Function MF_pipe_p_atma( _
    ByVal p_calc_from_atma As Double, _
    ByVal t_calc_from_C As Double, _
    Optional ByVal construction As String = "", _
    Optional ByVal feed As String = "", _
    Optional ByVal t_model As String = "", _
    Optional ByVal calc_along_coord As Boolean = True, _
    Optional ByVal flow_along_coord As Boolean = True, _
    Optional ByVal param As String)
' p_calc_from_atma - давление с которого начинается расчет, атм
'
' граничное значение для проведения расчета
' t_calc_from_C - температура в точке где задано давление расчета

```

```

' feed      - параметры потока флюидов json строка. Используйте
'             функцию encode_feed() для генерации
' construction - параметры конструкции json строка. Используйте
'             функцию encode_pipe() для генерации
' t_model    - параметры температурной модели json строка.
'             Используйте функцию encode_feed() для генерации
' calc_along_coord - направление расчета относительно координат.
' flow_along_coord - направление потока относительно координат.
' param      - дополнительные параметры расчета потока
' результат  - число - давление на другом конце трубы atma.
'             и распределение параметров по трубе

```

A.53. PVT_bg_m3m3

```

' функция расчета объемного коэффициента газа
Public Function PVT_bg_m3m3( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C    - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'             используйте encode_pvt для ее генерации
'
' Возвращает значение объемного коэффициента газа, м3/м3
' для заданных термобарических условий.
' В основе расчета корреляция для z фактора

```

A.54. PVT_bo_m3m3

```

' расчет объемного коэффициента нефти
Public Function PVT_bo_m3m3( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _

```



```

        ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C    - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
' Возвращает значение объемного коэффициента нефти, м3/м3
' для заданных термобарических условий.

```

A.55. PVT_bw_m3m3

```

' расчет объемного коэффициента воды
Public Function PVT_bw_m3m3( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C    - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
' Возвращает значение объемного коэффициента воды, м3/м3
' для заданных термобарических условий.

```

A.56. PVT_calc

```

' функция расчета всех PVT свойств нефти при заданных
' давлении и температуре
Public Function PVT_calc( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal PVT_prop As String, _
    Optional ByVal param As String = "")
' p_atma - давление, атм

```

```

' t_C      - температура, С.
' PVT_prop - статические свойства флюида - плотности rsb и пр
'           используйте encode_PVT для генерации
' param    - набор параметров расчета в виде json строки
'
' Возвращает значения всех PVT свойств
' для заданных термобарических условий.

```

A.57. PVT_compressibility_gas_1atm

```

' расчет сжимаемости нефти
Public Function PVT_compressibility_gas_1atm( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C    - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
' результат - число
' Возвращает коэффициента поверхностного натяжения жидкость - газ, Нм
' для заданных термобарических условий.

```

A.58. PVT_compressibility_oil_1atm

```

' расчет сжимаемости нефти
Public Function PVT_compressibility_oil_1atm( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C    - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,

```

```
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
' результат - число
' Возвращает коэффициента поверхностного натяжения жидкость - газ, Нм
' для заданных термобарических условий.
```

A.59. PVT_compressibility_wat_1atm

```
' расчет сжимаемости воды
Public Function PVT_compressibility_wat_1atm( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
' результат - число
' Возвращает коэффициента поверхностного натяжения жидкость - газ, Нм
' для заданных термобарических условий.
```

A.60. PVT_cp_gas_JkgC

```
' расчет теплоемкости газа при постоянном давлении cp
Public Function PVT_cp_gas_JkgC( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
```

```
' результат - число
' Возвращает коэффициента поверхностного натяжения жидкость - газ, Нм
' для заданных термобарических условий.
```

A.61. PVT_cp_oil_JkgC

```
' расчет теплоемкости нефти при постоянном давлении cp
Public Function PVT_cp_oil_JkgC( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
' результат - число
' Возвращает коэффициента поверхностного натяжения жидкость - газ, Нм
' для заданных термобарических условий.
```

A.62. PVT_cp_wat_JkgC

```
' расчет теплоемкости воды при постоянном давлении cp
Public Function PVT_cp_wat_JkgC( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
' результат - число
```

```
' Возвращает коэффициента поверхностного натяжения жидкость - газ, Нм
' для заданных термобарических условий.
```

A.63. PVT_cv_gas_JkgC

```
' расчет теплоемкости газа при постоянном давлении ср
Public Function PVT_cv_gas_JkgC( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
' результат - число
' Возвращает коэффициента поверхностного натяжения жидкость - газ, Нм
' для заданных термобарических условий.
```

A.64. PVT_mu_gas_cP

```
' расчет вязкости газа
Public Function PVT_mu_gas_cP( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
' Возвращает значение вязкости газа, сП
' для заданных термобарических условий.
```

A.65. PVT_mu_oil_cP

```
' расчет вязкости нефти
Public Function PVT_mu_oil_cP( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
' Возвращает значение вязкости нефти, сП
' для заданных термобарических условий.
```

A.66. PVT_mu_wat_cP

```
' расчет вязкости воды
Public Function PVT_mu_wat_cP( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
' Возвращает значение вязкости воды, сП
' для заданных термобарических условий.
```

A.67. PVT_pb_atma

```

' Расчет давления насыщения
Public Function PVT_pb_atma( _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C     - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
' результат - число - давление насыщения.

```

A.68. PVT_rho_gas_kgm3

```

' расчет плотности газа в рабочих условиях
Public Function PVT_rho_gas_kgm3( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C     - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
' результат - число - плотность газа
'           при заданных термобарических условиях, кг/м3.

```

A.69. PVT_rho_oil_kgm3

```

' расчет плотности нефти в рабочих условиях
Public Function PVT_rho_oil_kgm3( _

```

```

        ByVal p_atma As Double, _
        ByVal t_C As Double, _
        ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
' результат - плотность нефти
'           при заданных термобарических условиях, кг/м3.

```

A.70. PVT_rho_wat_kgm3

```

' расчет плотности воды в рабочих условиях
Public Function PVT_rho_wat_kgm3( _
        ByVal p_atma As Double, _
        ByVal t_C As Double, _
        ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
' результат - число - плотность воды
'           при заданных термобарических условиях, кг/м3.

```

A.71. PVT_rs_m3m3

```

' расчет газосодержания
Public Function PVT_rs_m3m3( _
        ByVal p_atma As Double, _
        ByVal t_C As Double, _
        ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм

```



```
' t_C      - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
' Возвращает значение газосодержания, м3/м3
' для заданных термобарических условий.
```

A.72. PVT_salinity_ppm

```
' расчет солености воды
Public Function PVT_salinity_ppm( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C     - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
' Возвращает значение солености воды, ppm
' для заданных термобарических условий.
```

A.73. PVT_ST_liqgas_Nm

```
' расчет коэффициента поверхностного натяжения жидкость - газ
Public Function PVT_ST_liqgas_Nm( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C     - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
```

```
' результат - число
' Возвращает коэффициента поверхностного натяжения жидкость - газ, Нм
' для заданных термобарических условий.
```

A.74. PVT_ST_oilgas_Nm

```
' расчет коэффициента поверхностного натяжения нефть - газ
Public Function PVT_ST_oilgas_Nm( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
' результат - число
' Возвращает коэффициента поверхностного натяжения нефть - газ, Нм
' для заданных термобарических условий.
```

A.75. PVT_ST_watgas_Nm

```
' расчет коэффициента поверхностного натяжения вода - газ
Public Function PVT_ST_watgas_Nm( _
    ByVal p_atma As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atma - давление, атм
' t_C - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
' результат - число
```

```
' Возвращает коэффициента поверхностного натяжения вода - газ, Нм
' для заданных термобарических условий.
```

A.76. PVT_z

```
' расчет коэффициента сверхсжимаемости газа
Public Function PVT_z( _
    ByVal p_atm As Double, _
    ByVal t_C As Double, _
    ByVal PVT_prop As String)
' p_atm - давление, атм
' t_C - температура, С.
' PVT_prop - строка с параметрами флюида,
'           используйте encode_pvt для ее генерации
'
' Результат - z фактор газа.
'           коэффициент сверхсжимаемости газа,
'           безразмерная величина
```

A.77. transient_def_cd

```
' расчет безразмерного коэффициента влияния ствола скважины
↔ (определение)
Function transient_def_cd(ByVal cs_latm As Double, _
    Optional ByVal rw_m As Double = 0.1, _
    Optional ByVal h_m As Double = 10, _
    Optional ByVal porosity As Double = 0.2, _
    Optional ByVal ct_latm As Double = 0.00001 _
) As Double
' cs_latm - коэффициент влияния ствола скважины, 1/атм
' rw_m - радиус скважины, м
' h_m - толщина пласта, м
' porosity - пористость
```

```
' ct_latm      - общая сжимаемость системы в пласте, 1/атм
' результат    - безразмерный коэффициент влияния ствола скважины  cd
```

A.78. transient_def_cs_latm

```
' расчет коэффициента влияния ствола скважины (определение)
Function transient_def_cs_latm(ByVal cd As Double, _
    Optional ByVal rw_m As Double = 0.1, _
    Optional ByVal h_m As Double = 10, _
    Optional ByVal porosity As Double = 0.2, _
    Optional ByVal ct_latm As Double = 0.00001 _
) As Double
' cs_latm      - коэффициент влияния ствола скважины, 1/атм
' rw_m         - радиус скважины, м
' h_m          - толщина пласта, м
' porosity     - пористость
' ct_latm      - общая сжимаемость системы в пласте, 1/атм
' результат    - коэффициент влияния ствола скважины  cs
```

A.79. transient_def_pd

```
' расчет безразмерного давления (определение)
Function transient_def_pd(ByVal p_wf_atma As Double, _
    ByVal q_liq_sm3day As Double, _
    Optional ByVal pi_atma As Double = 250, _
    Optional ByVal k_mD As Double = 100, _
    Optional ByVal h_m As Double = 10, _
    Optional ByVal mu_cP As Double = 1, _
    Optional ByVal b_m3m3 As Double = 1.2 _
) As Double
' p_wf_atma    - забойное давление, атма
' q_liq_sm3day - дебит запуска скважины, м3/сут в стандартных условиях
' pi_atma      - начальное пластовое давление, атма
' k_mD         - проницаемость пласта, мД
```

```
' h_m          - толщина пласта, м
' mu_cP        - вязкость флюида в пласте, сП
' b_m3m3       - объемный коэффициент нефти, м3/м3
' результат    - безразмерное время td
```

A.80. transient_def_p_wf_atma

```
' расчет безразмерного давления (определение)
Function transient_def_p_wf_atma(ByVal pd As Double, _
                                ByVal q_liq_sm3day As Double, _
                                Optional ByVal pi_atma As Double = 250, _
                                Optional ByVal k_mD As Double = 100, _
                                Optional ByVal h_m As Double = 10, _
                                Optional ByVal mu_cP As Double = 1, _
                                Optional ByVal b_m3m3 As Double = 1.2 _
                                ) As Double
' p_wf_atma     - забойное давление, атма
' q_liq_sm3day  - дебит запуска скважины, м3/сут в стандартных условиях
' pi_atma       - начальное пластовое давление, атма
' k_mD          - проницаемость пласта, мД
' h_m           - толщина пласта, м
' mu_cP         - вязкость флюида в пласте, сП
' b_m3m3        - объемный коэффициент нефти, м3/м3
' результат     - безразмерное время td
```

A.81. transient_def_td

```
' расчет безразмерного времени (определение)
Function transient_def_td(ByVal t_day As Double, _
                          Optional ByVal rw_m As Double = 0.1, _
                          Optional ByVal k_mD As Double = 100, _
                          Optional ByVal porosity As Double = 0.2, _
                          Optional ByVal mu_cP As Double = 1, _
                          Optional ByVal ct_latm As Double = 0.00001 _
```

```

) As Double
' t_day      - время для которого проводится расчет, сут
' rw_m       - радиус скважины, м
' k_mD       - проницаемость пласта, мД
' porosity   - пористость
' mu_cP      - вязкость флюида в пласте, сП
' ct_latm    - общая сжимаемость системы в пласте, 1/атм
' результат  - безразмерное время td

```

A.82. transient_def_t_day

```

' расчет времени по безразмерному времени (определение)
Function transient_def_t_day(ByVal td As Double, _
    Optional ByVal rw_m As Double = 0.1, _
    Optional ByVal k_mD As Double = 100, _
    Optional ByVal porosity As Double = 0.2, _
    Optional ByVal mu_cP As Double = 1, _
    Optional ByVal ct_latm As Double = 0.00001 _
) As Double
' t_day      - время для которого проводится расчет, сут
' rw_m       - радиус скважины, м
' k_mD       - проницаемость пласта, мД
' porosity   - пористость
' mu_cP      - вязкость флюида в пласте, сП
' ct_latm    - общая сжимаемость системы в пласте, 1/атм
' результат  - время t

```

A.83. transient_pd_radial

```

' Расчет неустановившегося решения уравнения фильтрации
' для различных моделей радиального притока к вертикальной скважине
' основано на решениях в пространстве Лапласа и преобразовании Стефеста
Function transient_pd_radial(ByVal td As Double, _
    Optional ByVal cd As Double = 0, _

```

```

Optional ByVal skin As Double = 0, _
Optional ByVal rd As Double = 1, _
Optional Model As Integer = 0)
' td          - безразмерное время для которого проводится расчет
' cd          - безразмерный коэффициент влияния ствола скважины
' skin        - скин-фактор, безразмерный skin>0.
'             для skin<0 используйте эффективный радиус скважины
' rd          - безразмерное расстояние для которого проводится расчет
'             rd=1 соответствует забою скважины
' model       - модель проведения расчета. 0 - модель линейного стока Ei
'             1 - модель линейного стока через преобразование Стефеста
'             2 - конечный радиус скважины
'             3 - линейный сток со скином и послепритоком
'             4 - конечный радиус скважины со скином и послепритоком
' результат - безразмерное давление pd

```

A.84. transient_pwf_radial_atma

```

' расчет изменения забойного давления после запуска скважины
' с постоянным дебитом (terminal rate solution)
Function transient_pwf_radial_atma(ByVal t_hr As Double, _
                                ByVal q_liq_sm3day As Double, _
                                Optional ByVal pi_atma As Double = 250, _
                                Optional ByVal skin As Double = 0, _
                                Optional ByVal cs_latm As Double = 0, _
                                Optional ByVal r_m As Double = 0.1, _
                                Optional ByVal rw_m As Double = 0.1, _
                                Optional ByVal k_mD As Double = 100, _
                                Optional ByVal h_m As Double = 10, _
                                Optional ByVal porosity As Double = 0.2, _
                                Optional ByVal mu_cP As Double = 1, _
                                Optional ByVal b_m3m3 As Double = 1.2, _
                                Optional ByVal ct_latm As Double = 0.00001, _
                                Optional ByVal Model As Integer = 0) As Double
' t_hr        - время для которого проводится расчет, час
' q_liq_sm3day - дебит запуска скважины, м3/сут в стандартных условиях
' pi_atma     - начальное пластовое давление, атма
' skin        - скин - фактор, может быть отрицательным
' cs_latm     - коэффициент влияния ствола скважины, 1/атм

```

```

' r_m          - расстояние от скважины для которого проводится расчет, м
' rw_m         - радиус скважины, м
' k_mD         - проницаемость пласта, мД
' h_m         - толщина пласта, м
' porosity     - пористость
' mu_cP        - вязкость флюида в пласте, сП
' b_m3m3       - объемный коэффициент нефти, м3/м3
' ct_1atm      - общая сжимаемость системы в пласте, 1/атм
' model        - модель проведения расчета. 0 - модель линейного стока Ei
'              1 - модель линейного стока через преобразование Стефеста
'              2 - конечный радиус скважины
'              3 - линейный сток со скином и послепритоком
'              4 - конечный радиус скважины со скином и послепритоком
' результат - давление pwf

```

A.85. unf_version

```

' функция возвращает номер версии Унифлок VBA
Public Function unf_version() As String

```

A.86. well_ksep_natural_d

```

' расчет натуральной сепарации газа на приеме насоса
Public Function well_ksep_natural_d( _
    ByVal q_liq_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 str_PVT As String = PVT_DEFAULT)
' q_liq_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
' str_PVT         - закодированная строка с параметрами PVT.
'                - если задана - перекрывает другие значения
' результат      - число - естественная сепарация

```

A.87. well_ksep_total_d

```

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

```