

## Расчет свойств потока флюидов при сепарации части свободного газа из потока

Это описание содержит один из разделов руководства пользователя (мануала) к Unifloc 7.26 VBA. Полную версию мануала можно найти в репозитории [https://github.com/unifloc/unifloc\\_vba](https://github.com/unifloc/unifloc_vba).

### Глава 1. PVT свойства флюидов

#### 1.1. Преобразования потоков флюидов

##### 1.1.1. 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  $\mu_{ob}$ .

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 м<sup>3</sup>/сут, время прохождения потоком через одну ступень составляет около 0.02 сек [1], 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 Игровского В.И. [1] 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

$$r_p^{new} = r_p - (r_p - r_s) k_{sep} \quad (1)$$

$$q_{gas}^{new} = q_{gas}(1 - k_{sep}) \quad (2)$$

Максимально возможное значение газосодержания при повышении давления можно найти из выражения

$$r_s^{max} = r_s + (r_p - r_s)(1 - k_{sep}) * K_f \quad (3)$$

При повышении давления часть газа может раствориться в нефти, что можно описать найдя величины  $P_b^{new}$ ,  $B_{ob}^{new}$ ,  $\mu_{ob}^{new}$  с учетом максимально достижимого значения газосодержания (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,  $K_f = 0$ .

Таблица 1 — 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
$\gamma_g$	0.9	0.9
$\gamma_o$	0.9	0.9
$r_{sb}$ , м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	80	25
$P_b$ , атма	130	50
$T_{res}$ , С	90	90
$B_{ob}$ , м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	1.2	1.09
$\mu_{ob}$ , сП	1	1.96
$Q_{gas\ free}$ , м <sup>3</sup> /сут	1000	500
$Q_{liq}$ , м <sup>3</sup> /сут	15	15
$f_w$ , %	1	1
$r_p$ , м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	80	52

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

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.

При увеличении коэффициента неравновесности  $K_f = 0.9$  картина изменится - эффективное значение давления насыщения нефти вырастет, что позволит части

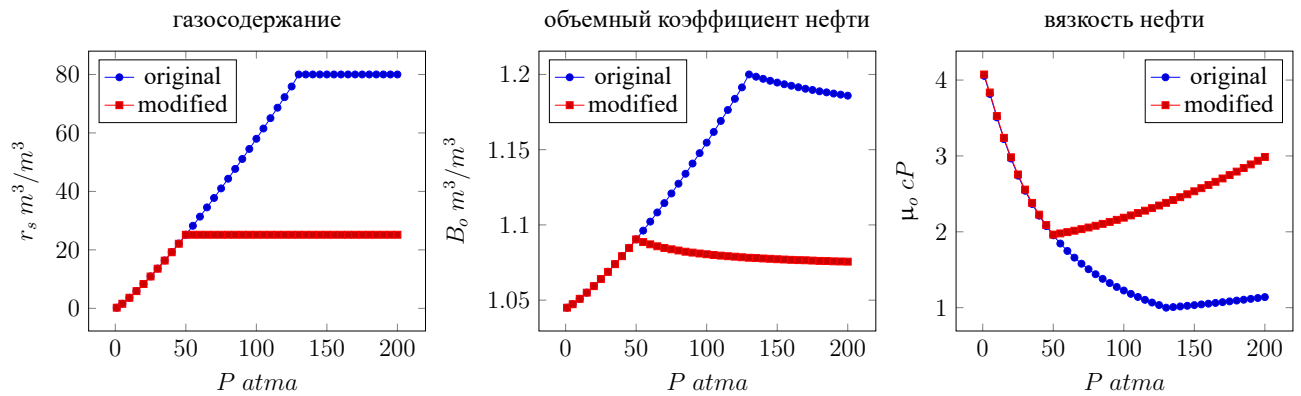


Рис. 1 — Зависимость параметров флюида от давления до и после сепарации части свободного газа. Пример 1,  $K_f = 0$  — газ не растворяется при повышении давления газа раствориться. Ниже приводится пример 2, где также для наглядности изменён набор корреляций для следующего набора параметров:  $k_{sep} = 0.5$ ,  $p_{sep} = 50$  атма,  $t_{sep} = 90$  С,  $K_f = 0.9$ . Результаты расчета приведены в таблице 2 и на рисунке 2.

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 2 — 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
$\gamma_g$	0.9	0.9
$\gamma_o$	0.9	0.9
$r_{sb}$ , м³/м³	80	61
$P_b$ , атма	130	84
$T_{res}$ , С	90	90
$B_{ob}$ , м³/м³	1.2	1.16
$\mu_{ob}$ , сП	1	1.22
$Q_{gas\ free}$ , м³/сут	1000	500
$Q_{liq}$ , м³/сут	15	15
$f_w$ , %	1	1
$r_p$ , м³/м³	80	63

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

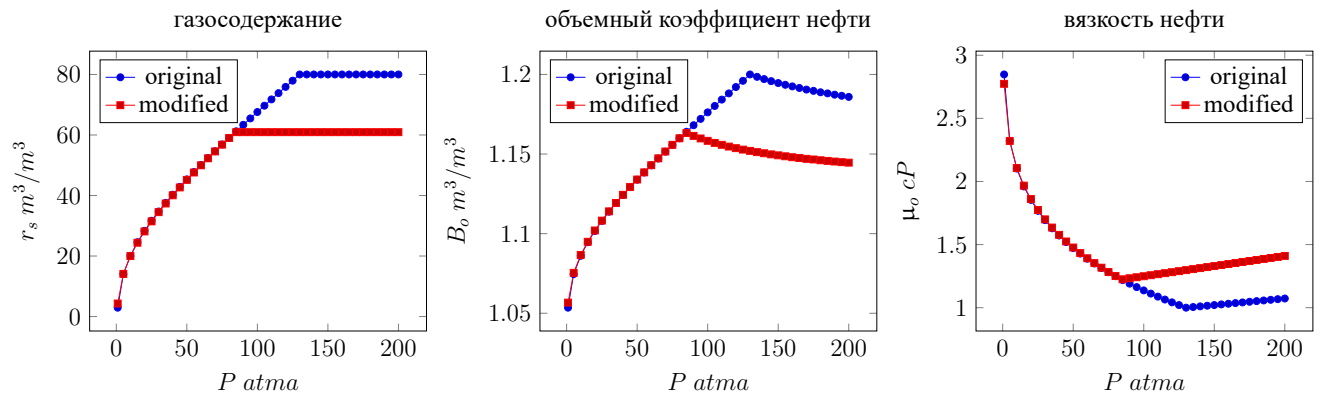


Рис. 2 — Зависимость параметров флюида от давления до и после сепарации части свободного газа. Пример 2,  $K_f = 0.9$  — газ частично растворяется при повышении давления

## Список литературы

1. *Игrevский 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.