

УДК 622.692.284

А.Ф. Максименко¹, e-mail: maf@gubkin.ru; И.Ф. Дяченко¹, e-mail: dyachenko.i@gubkin.ru;

С.С. Лоповок¹, e-mail: slopovok@yandex.ru

¹ Российский государственный университет нефти и газа (Национальный исследовательский университет) им. И.М. Губкина (Москва, Россия).

Уточнение методики расчета потерь нефти в резервуарах типа РВС от «больших дыханий»

Потери от испарения сырой нефти при хранении в резервуарных парках связаны, как правило, с опорожнением и заполнением резервуаров. Доля этих потерь составляет значительную часть в объеме всех потерь при хранении нефти. Неточность расчета может иметь значительные экономические последствия. Это обуславливает актуальность рассматриваемой задачи.

Основной проблемой при расчете потерь нефти от «больших дыханий» является расчет прироста содержания легких фракций углеводородов (ЛФУ) в паровоздушной смеси (ПВС) при операциях заполнения и опорожнения резервуаров, а также в межоперационный период. Для этого используются критериальные уравнения массоотдачи. В предлагаемой работе была произведена оценка точности критериальных уравнений, предложенных в работах [4, 2]. Выполнен анализ факторов, влияющих на точность расчета потерь от «больших дыханий» по рассматриваемым методикам. Расчет концентрации ЛФУ в паровоздушной смеси по рассматриваемым уравнениям в ряде случаев дает значительную погрешность. В частности, расчет по уравнению, изложенному в работе [2], при опорожнении резервуара показывает, что концентрация ЛФУ в ходе этого процесса растет, что не соответствует имеющимся экспериментальным данным [2, 3]. Расчет по уравнению, предложенному в работе [4], для межоперационного периода показывает, что концентрация ЛФУ практически не возрастает, что также не соответствует экспериментальным данным. На основании анализа результатов обработки имеющихся данных были получены новые критериальные уравнения, наилучшим образом описывающие процесс испарения нефти. Произведено сравнение результатов расчета годовых потерь нефти от «больших дыханий» в резервуаре РВС-10000 от коэффициента оборачиваемости резервуара по предложенной и ранее разработанным методикам.

Ключевые слова: потери, испарение, «большие дыхания», нефть, критериальные уравнения, массоотдача, ПВС, резервуар.

.....

A.F. Maksimenko¹, e-mail: maf@gubkin.ru; I.F. Dyachenko¹, e-mail: dyachenko.i@gubkin.ru;

S.S. Lopovok¹, e-mail: slopovok@yandex.ru

¹ Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University) (Moscow, Russia).

Improving of methodology of estimating working evaporative losses

Evaporation losses of oil while storage, filling and emptying of oil tanks are a large part of losses while transportation of crude oil. Inaccurate calculation of losses results in a huge financial damage. That is why it is necessary to make a calculation correctly.

The main problem while calculation of working evaporative losses is estimation of concentration growth while storage of crude oil, filling or emptying. Criteria equations are used for this purpose. Accuracy of criteria equations from research [2, 4] was estimated while operating procedure in oil tanks. Methodologies for estimating working evaporative losses was analyzed. In some scenarios, results of calculation of vapor concentration of oil do not conform to real value of vapor concentration [3, 4]. Especially calculation using the equation form research [2] for emptying of oil tanks shows that vapor concentration is growing while this process, that is not right. Calculation using the equation from research [3] for storage of oil shows that vapor concentration is not growing while this process that is also not right. Using the real measurements new criteria equations were deduced. According to the compared methods, new methodology, working evaporative losses from the fixed roof tank were calculated. Calculation accuracy of these methods was done as well.

Keywords: losses, oil, crude oil, working losses, criteria equations, mass transfer, oil tank, fixed roof tank.



Потери от испарения сырой нефти при хранении и операциях, связанных с опорожнением и наполнением емкостей, составляют значительную часть в объеме всех потерь при транспортировке. Основная доля потерь от испарения на протяжении всего пути движения нефти от промысла до нефтеперерабатывающих заводов и на самих заводах приходится на резервуары (до 75 %). При этом основные потери легких фракций углеводородов от испарения из резервуаров приходится на «большие дыхания» – около 80 %.

Поскольку потери от «больших дыханий» в процентном соотношении самые большие, особенно важно вести их правильный учет. Для их оценки при магистральном трубопроводном транспорте нефти разработаны Методические рекомендации по определению технологических потерь нефти и нефтепродуктов при транспортировке магистральным трубопроводным транспортом, утвержденные Министерством энергетики Российской Федерации. Но фактический уровень потерь не всегда совпадает со значением, вычисленным по данной методике. Это объясняется наличием ряда допущений, принятых в расчете. В частности, концентрация ЛФУ принимается равной концентрации насыщения, объем вышедшей из резервуара паровоздушной смеси принимается равным объему закачиваемой нефти.

Эти допущения отсутствуют в методиках, предложенных в [2, 4]. В этих работах для расчета потерь от «больших дыханий» используется формула В.И. Черникина:

$$G_{б.д.} = \left[V_n - V_r \left(\frac{P_2 - P_1}{P_2 - P_{y.зак}} \right) \right] \frac{P_{y.зак}}{P_2} \rho_y, \quad (1)$$

где V_n – объем закачиваемой в резервуар нефти, м³;

V_r – объем газового пространства (ГП) резервуара перед закачкой нефти, м³;

P_2 – абсолютное давление в ГП в конце закачки, Па;

P_1 – то же в начале закачки, Па;

ρ_y – плотность паров нефти, кг/м³;

$P_{y.зак}$ – среднее расчетное парциальное давление паров нефти в процессе заполнения резервуара, Па.

В этой формуле вычитаемое в скобках учитывает разницу между объемом закачиваемой нефти в резервуар и объемом вышедшей паровоздушной смеси. Парциальное давление паров нефти, в свою очередь, рассчитывается по следующей формуле:

$$P_{y.зак} = C_{зак.ср.} P_2, \quad (2)$$

где $C_{зак.ср.}$ – средняя концентрация ЛФУ в паровоздушной смеси (ПВС), вытесняемой из резервуара при его заполнении. Величина $C_{зак.ср.}$ определяется с учетом донасыщения газового пространства в период, предшествующий заполнению.

В общем случае процессу заполнения предшествуют откачка нефти из резервуара и межоперационный период. Задаваясь какой-то начальной концентрацией паров нефти в паровоздушной смеси, необходимо рассчитать концентрацию в конце процесса откачки, в конце межоперационного периода, а затем в конце процесса заполнения нефтью резервуара. Концентрация паров ЛФУ рассчитывается в рассмотренных методиках методом последовательных приближений при помощи критериальных уравнений, описывающих процесс формирования потерь.

В методике, изложенной в работе [2], используются следующие критериальные уравнения:

- для межоперационного периода

$$Kt_{np} = 2,17 \cdot 10^{-3} \Delta\pi^{0,403} Sc^{0,0932}; \quad (3)$$

- для опорожнения резервуаров

$$Kt_{от} = Kt_{np} (1 + 7,45 \cdot 10^{-3} Sc^{0,197} Re_{cp}^{0,569}); \quad (4)$$

- для заполнения резервуаров

$$Kt_{зак} = Kt_{np} (1 + 1,34 Sc^{1,327} \Delta\pi^{0,655} (FrRe)^{0,087}), \quad (5)$$

где все значения – безразмерные критерии подобия.

В методике [4] используются следующие критериальные уравнения:

Ссылка для цитирования (for citation):

Максименко А.Ф., Дяченко И.Ф., Лоповок С.С. Уточнение методики расчета потерь нефти в резервуарах типа ПВС от «больших дыханий» // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2016. № 9. С. 92–95.

Maksimenco A.F., Dyachenko I.F., Lopovok S.S. Improving of methodology of estimating working evaporative losses (In Russ.). Territorija «NEFTEGAZ» = Oil and Gas Territory, 2016, No. 9, P. 92–95.

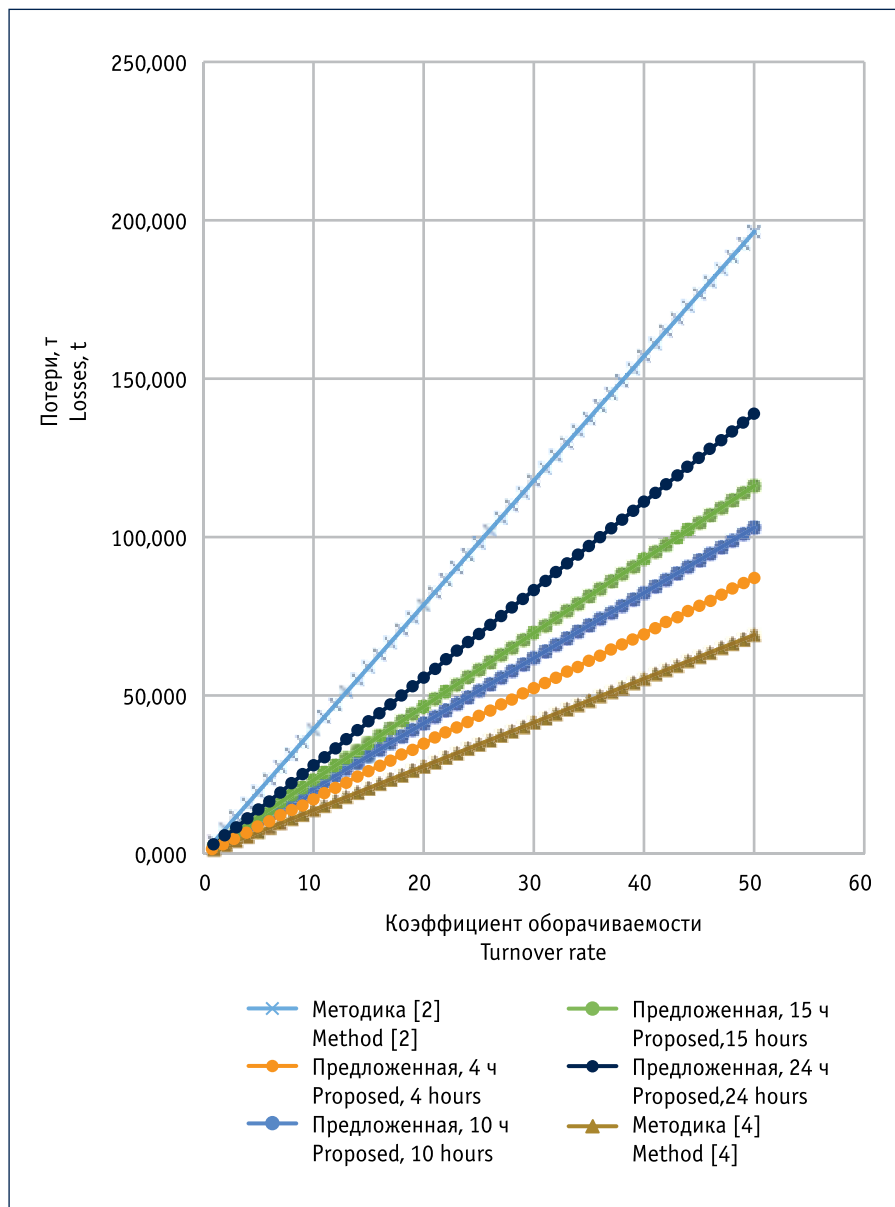


Рис. Годовые потери нефти от «больших дыханий»
Fig. Annual losses of oil from 'out breathing'

- для межоперационного периода

$$Sh_{np} = 0,63 \cdot 10^{-3} Sc^{-1,013} (1+Gr)^{0,284} \left(\frac{H_r}{D_p}\right)^{0,838} (1-C)^{-6,74}; \quad (6)$$

- для опорожнения резервуаров

$$Sh_{от} = 0,02 Re_{от}^{0,84} Sc^{-3,08} \left(\frac{d_3}{D_p}\right)^{1,77} (1-C)^{-4,79}; \quad (7)$$

- для заполнения резервуаров

$$Sh_3 = 1,063 Re_3^{0,412} Sc^{-3,382} \left(\frac{D_p}{H_r}\right)^{1,076} (1-C)^{-0,346}; \quad (8)$$

где все значения – безразмерные критерии подобия.

Из анализа формулы В.И. Черникина (1) следует, что точность расчета потерь зависит от средней концентрации паров ЛФУ в паровоздушной смеси и, следовательно, от точности расчета концентрации в процессе откачки, межоперационный период и в процессе заправки нефти в резервуар при использовании критериальных уравнений массоотдачи. Таким образом, необходимо оценить точность расчета по представленным критериальным уравнениям. Поскольку в них используются различные крите-

рии подобия, оценивать их точность целесообразно по концентрации ЛФУ в определенный момент времени. Было произведено сравнение расчетных данных с экспериментальными, представленными в работе [3]. Анализ результатов сравнения позволил сделать следующие выводы.

В межоперационном периоде средняя погрешность расчета концентрации ЛФУ по уравнению (6) составила 22 %. При расчете по этому уравнению концентрация ЛФУ увеличивается незначительно, что не соответствует практическим данным. Расчет потерь от «больших дыханий» на основе данного уравнения может привести к занижению реального значения потерь.

Средняя погрешность расчета концентрации ЛФУ по уравнению (3) составила 15 %. При расчете по этому уравнению концентрация ЛФУ увеличивается. Уравнение достаточно точно описывает процесс испарения при хранении нефти в резервуаре.

В процессе операции опорожнения резервуара средняя погрешность расчета концентрации ЛФУ по уравнению (7) составила 45 %. При расчете по данному уравнению концентрация ЛФУ уменьшается, что соответствует практическим данным.

Средняя погрешность расчета концентрации ЛФУ по уравнению (4) составила 120 %. При расчете по этому уравнению концентрация ЛФУ в процессе откачки увеличивается. А по экспериментальным данным – должна уменьшаться. Это и объясняет значительную неточность при расчете по данному уравнению. Расчет потерь от «больших дыханий» с использованием данного уравнения может привести к завышению реального значения потерь.

В процессе заполнения резервуара средняя погрешность расчета концентрации ЛФУ по уравнению (8) составила 11 %. При расчете по данному уравнению концентрация ЛФУ увеличивается, что соответствует практическим данным. Уравнение достаточно точно описывает процесс испарения при заполнении резервуара нефтью.

Средняя погрешность расчета концентрации по уравнению (5) составила 38 %. При расчете по этому уравнению

концентрация ЛФУ в процессе откачки увеличивается, что соответствует практическим данным.

Таким образом, обе методики расчета потерь ЛФУ имеют свои недостатки. Поэтому расчет потерь от «больших дыханий» по ним может привести к значительным ошибкам. В данной работе были проанализированы и обработаны экспериментальные данные, и при помощи метода наименьших квадратов на их основе предложены критериальные уравнения, описывающие испарение нефти в процессах откачки и закачки, а также в межоперационный период:

- для межоперационного периода

$$Kt_{np} = 3,565 \cdot 10^{-3} \Delta t^{0,922} Sc^{-2,369}; \quad (9)$$

- для опорожнения резервуаров

$$Kt_{от} = 2,1246 \Delta t^{0,220} Sc^{-1,128} Re_{cp}^{0,518}; \quad (10)$$

- для заполнения резервуаров

$$Kt_{зак} = 1,72 \cdot 10^{-3} \Delta t^{0,843} Sc^{2,209} (Fr Re)^{0,072}. \quad (11)$$

Средняя погрешность расчета концентрации ЛФУ по уравнению (9) для межоперационного периода составила

13 %, по уравнению (10) при опорожнении резервуаров – 16 %, по уравнению (11) при заполнении резервуаров – 12 %. При этом изменение концентрации ЛФУ соответствует практическим данным. Таким образом, данные критериальные уравнения в совокупности наилучшим образом описывают процессы массоотдачи в резервуаре типа РВС. Для оценки влияния критериальных уравнений на расчетное значение потерь были определены годовые потери нефти с давлением насыщенных паров по Рейду 50 кПа от «больших дыханий» из резервуара РВС-10000. Расчет производился с использованием значений среднемесячных температур воздуха для г. Москвы. Потери рассчитывались в зависимости от коэффициента обрачиваемости резервуара для полного цикла: опорожнение резервуара, межоперационный период и последующая закачка нефти в резервуар. Концентрация ЛФУ в начале процесса опорожнения резервуара принята равной 90 % от значения концентрации насыщения. Продолжительность межоперационного периода принималась равной 4–24 ч.

График годовых потерь ЛФУ, рассчитанный по рассматриваемым методикам,

представлен на рисунке. Из него видно, что потери, рассчитанные по методике [2], не зависят от продолжительности межоперационного периода. Причина этого – несоответствие фактическому значению концентрации ЛФУ, рассчитанного при помощи критериального уравнения для процесса откачки (по данному расчету, концентрация в процессе откачки растет, что не соответствует практическим данным).

Потери, рассчитанные по методике [4], также не зависят от продолжительности межоперационного периода. Это можно объяснить несоответствием фактическому значению концентрации ЛФУ, полученного при помощи критериального уравнения для межоперационного периода (согласно расчету концентрация в межоперационный период растет незначительно, что также не соответствует практическим данным).

Расчет по предложенной методике показывает, что величина потерь нефти от «больших дыханий» в большой степени зависит от продолжительности межоперационного периода эксплуатации резервуара. Таким образом, определение потерь ЛФУ по методикам [2] и [4] может привести к значительным погрешностям расчета.

Литература:

1. Методические рекомендации по определению технологических потерь нефти и нефтепродуктов при транспортировке магистральным трубопроводным транспортом, утв. 20.08.2012.
2. Коршак С.А. Совершенствование методов расчета потерь бензинов от испарения из резервуаров типов РВС и РВСП: Дис. ... канд. техн. наук: 25.00.19. Уфа, 2003.
3. Любин Е.А. Обоснование технологии улавливания паров нефти из резервуаров типа РВС с использованием насосно-эжекторной установки: Дис. ... канд. техн. наук: 25.00.19. СПб., 2010.
4. Мухамедьярова Р.А., Абузова Ф.Ф. Массоотдача от испаряющейся поверхности при насыщении газового пространства резервуара // Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. 1981. № 4. С. 27–29.
5. Максименко А.Ф., Лоповок С.С. Сравнительный анализ методик учета потерь нефти и нефтепродуктов в резервуарах от испарения // Нефть, газ и бизнес. 2015. № 5. С. 56–59.
6. Максименко А.Ф., Лоповок С.С. Моделирование процесса заполнения резервуара нефтепродуктами // Нефть, газ и бизнес. 2015. № 4. С. 52–53.

References:

1. Guidelines for the definition of technological losses of oil and oil products during transportation with main pipelines, app. on 20.08.2012. (In Russian)
2. Korshak S.A. Improvement of losses calculation methods for gasoline evaporation from VST and VSTP types tanks, PhD thesis in Engineering Science. Ufa, 2003. (In Russian)
3. Lubin E.A. Substantiation of oil vapours recovery technology from the VST type tanks with pump-ejector unit, PhD thesis in Engineering Science. Saint Petersburg, 2010. (In Russian)
4. Mukhamedyarova R.A., Abuzova F.F. Mass transfer of the evaporating surface at the saturation of the tank gas space. *Transport i khranenie nefiti i nefteproduktov = Transportation and storage of oil and oil products*, No. 4, 1981, pp. 27–29. (In Russian)
5. Maksimenko A.F., Lopovok S.S. Comparative analysis of the methods for oil and oil products losses accounting in tanks by evaporation. *Neft', gaz i biznes = Oil, gas and business*, 2015, No. 5, pp. 56–59. (In Russian)
6. Maksimenko A.F., Lopovok S.S. Simulation of tank filling process the with oil products. *Neft', gaz i biznes = Oil, gas and business*, 2015, No. 4, pp. 52–53. (In Russian)