

УДК 544.03

ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЧЁТА УГЛЕВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВ НА ПОЛЕВЫХ СКЛАДАХ

Ю.Н. РЫБАКОВ, С.И. ЧИРИКОВ, Р.И. КЮННАП

В статье изложены теоретические подходы к оценке технологических потерь нефтепродуктов при хранении в эластичных резервуарах с учётом стационарного и нестационарного режимов диффузии топлив через конструкционный материал эластичного резервуара. Предложенный алгоритм и математические модели определения технологических потерь, с учётом нестационарного режима изменения топливопроницаемости конструкционного материала эластичных резервуаров, позволяют существенно (до 40%) повысить точность нормирования естественной убыли углеводородных топлив на полевых складах горючего.

Ключевые слова эластичные резервуары, полевые склады горючего, естественная убыль, технологические потери, моторные и авиационные топлива, коэффициент диффузии, алгоритм и математические модели, нормирование.

Большинство известных работ, посвящённых оценке естественной убыли при хранении в эластичных резервуарах, используют стационарную модель процесса диффузии углеводородов. Для получения более точных оценок технологических потерь нефтепродукта необходимо учитывать нестационарность данного процесса, т.е. рассматривать данное явление при переменной не только по толщине, но также и во времени концентрации нефтепродукта в эластичной оболочке. Это позволит осуществить более точный прогноз потерь углеводородов при их хранении в эластичных резервуарах.

Решение задач по определению нормативов технологических потерь (естественной убыли) нефтепродуктов за счет проницаемости нефтепродуктов через оболочки резервуаров может быть эффективно осуществлено с использованием дифференциального уравнения диффузии без набухания

$$\frac{\partial C(x, \tau)}{\partial \tau} = \operatorname{div}(-D \cdot \operatorname{grad} C(x, \tau)). \quad (1)$$

При постоянном коэффициенте диффузии $D = \text{const}$ имеем уравнение

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = D \cdot \Delta C. \quad (2)$$

При решении практических задач чаще всего ограничиваются случаем одномерных моделей, используя известное дифференциальное уравнение параболического типа [1; 2]. Считая внешние размеры резервуара существенно большими толщины его стенок, выберем модель диффузионного процесса в виде неограниченной пластины толщиной d . С учетом отсутствия источников массы внутри эластичного материала можно применить дифференциальное уравнение, обычно называемое уравнением теплопроводности [3]

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = D \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}, \quad (3)$$

где τ – время протекания диффузионных процессов; x – координата, направление которой совпадает с внешней нормалью к эластичной поверхности.

Для количественного решения задачи определения естественной убыли нефтепродукта вследствие диффузии из эластичного резервуара уравнение (3) необходимо дополнить начальными и граничными условиями. Очевидно, что начальные условия в момент времени $\tau = 0$ следует принять в виде

$$C(0,x)=0 \quad \text{при} \quad 0 \leq x \leq l,$$

что соответствует отсутствию молекул нефтепродукта в эластичном материале.

Для задания двух граничных условий в точках $x = 0$ и $x = l$ примем следующие допущения:

1. В точке $x = 0$ в месте контакта границы жидкого объема с эластичной поверхностью во все моменты времени $\tau > 0$ считаем концентрацию $C(x, \tau)$ постоянной величиной, равной максимально возможной при данной температуре

$$C(x, \tau)|_{x=0} = C_0. \quad (4)$$

2. В точке $x = l$, соответствующей внешней оболочке эластичной поверхности, принимаем граничные условия в виде

$$-\left. \frac{dc}{dx} \right|_{x=l} = AC_0, \quad (5)$$

считая плотность диффузионного потока на внешней границе оболочки постоянной величиной, пропорциональной максимально возможной концентрации нефтепродукта в эластичном материале - C_0 ($A = 0$ - случай непроницаемой эластичной оболочки).

Для этого определения численных значений параметров C_0 и A в формулах (4) и (5) необходимо использовать экспериментальные данные по накоплению диффузанта (нефтепродукта) в эластичной оболочке. Т.е. необходимо проведение двух экспериментов по измерению концентрации при двух различных толщинах эластичных оболочек. При этом толщина этих двух оболочек должна отличаться в 2 раза.

Учитывая граничные условия (4) и (5) решение уравнения (3) можно записать в виде

$$C(x, \tau) = C_0(1 - Ax) - \frac{8l}{\pi^2} \sum_1^{\infty} [A + (-1)^n \frac{2n+1}{2l} \pi C_0] \cdot e^{-\left(\frac{2n+1}{2l} \pi\right)^2 \cdot \frac{D\tau}{l^2}} \cdot \frac{\cos \frac{2n+1}{2l} \pi(l-x)}{2n+1} \quad (6)$$

Задавая различные значения элементов времени τ , можно получить значения концентрации нефтепродукта C в различных точках эластичной оболочки.

Наиболее важным является определение функции изменения во времени значения концентрации $C(\tau)$ в точке $x = l$, т.е. на внешней границе оболочки. Тогда решение (6) примет вид

$$C(l, \tau) = C_0(1 - Al) - \frac{8l}{\pi^2} \sum_1^{\infty} [A + (-1)^n \frac{2n+1}{2l} \pi l_0] \cdot \frac{1}{(2n+1)^2} e^{-\left(\frac{2n+1}{2l} \pi\right)^2 \cdot \frac{D\tau}{l^2}} \quad (7)$$

Данное решение $C(l, x)$ может быть использовано при определении массы вышедшего нефтепродукта из объема, ограниченного эластичной поверхностью при нестационарном режиме диффузии.

Для определения последней величины примем, что стационарное значение концентрации $C(l, \tau)$ при $\tau \longrightarrow \infty$ соответствует известной величине I – массе вышедшего нефтепродукта в единицу времени с единицы поверхности, измеряемой экспериментально в течение значительного промежутка времени (более 5 сут.).

Промежуточные во времени τ ($0 < \tau < \infty$) значения величины $i(\tau)$ будут пропорциональны концентрации $C(l, \tau)$ в тот же момент времени τ . Таким образом, текущее значение плотности диффузионного потока $i(\tau)$ будет определяться формулой

$$i(\tau) = \frac{C(l, \tau) \cdot I}{C(l, \infty)} \quad (8)$$

Значение массы нефтепродукта, вышедшей из единицы поверхности эластичного резервуара за время t , может быть определено в виде

$$m = \int_0^t i(\tau) d\tau, \quad (9)$$

где m – топливопроницаемость через конструкционный материал, $кг/м^2$.

Для определения зависимости во времени концентрации и плотности диффузионного потока на внешней границе эластичной оболочки воспользуемся формулой (7). Задавая различные значения τ , получим соответствующие значения концентрации $C(l, \tau)$ (таблица).

$$\rho = 750 \text{ кг/м}^3, l = 3 \text{ мм}, t = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}, I_0 = 145 \text{ г/(м}^3\text{сут.)}, \\ D = 6,71 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{с} = 5,8 \cdot 10^{-7} \text{ м}^2/\text{сут.}$$

Таблица

Исходные данные и результаты расчета технологических потерь в нестационарном режиме диффузии

$\frac{D\tau}{l^2}$	I/I_0
0,025	0,092
0,05	0,710
0,075	0,831
0,1	0,907
0,15	0,58
∞	1

На рисунке приведен график зависимости безразмерной величины I/I_0 (I_0 – значение диффузионного потока в стационарном режиме) от безразмерного времени.

Рисунок иллюстрирует зависимость $D\tau/l^2$ при рассмотрении диффузии бензина АИ-92 через конструкционный материал эластичного резервуара типа МР [4; 5; 6]. Безразмерное время протекания неустановившегося процесса диффузии, равное 0,2, соответствует реальному времени около 3 сут.

Оценку массы вышедшего из эластичного резервуара нефтепродукта рассчитывают по формуле (9).

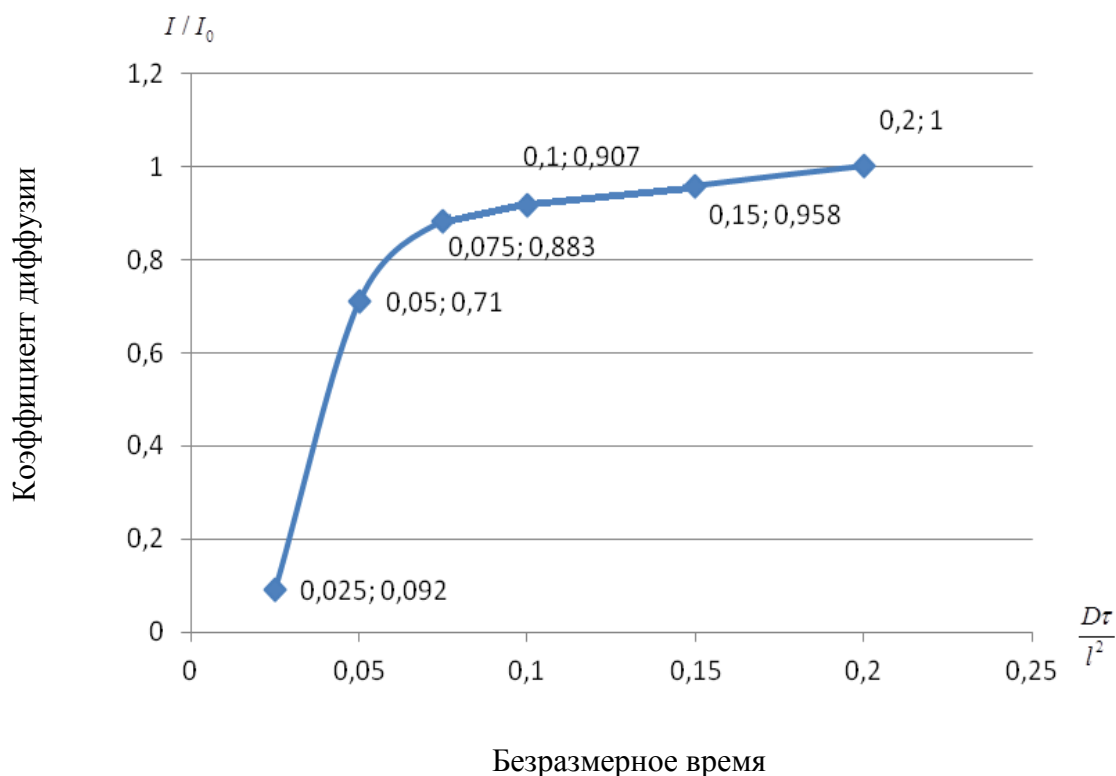


Рисунок. Динамика технологических потерь при нестационарном режиме диффузии углеводородов

Промежуток времени определяют из расчётов по предыдущему пункту. Очевидно, что это время τ – протяженность нестационарного процесса диффузии или время стабилизации диффузии. Интегрируя по (9) с учётом формул (8) и (7), получаем значение для рассматриваемого случая (материал – МР, бензин – АИ-92).

После интегрирования получаем значение убывшей массы в нестационарном режиме за безразмерное время $D\tau/l^2 = 0,2$, равное 0,5326.

Это значение убывшей массы вещества удобно выразить в долях от массы, убывающей за аналогичный период времени, считая процесс установившимся, с постоянной величиной диффузионного потока.

Резюмируя изложенное, можно констатировать, что без учёта нестационарности процесса диффузии оценка количества вышедшего нефтепродукта оказывается завышенной. Реальная убыль нефтепродукта при протекании нестационарного режима оказывается немногим более половины (56,5%) от убыли, посчитанной по известным методикам для стационарных режимов. Таким образом, неучёт этого фактора может очень сильно отразиться на результате для относительно коротких сроков хранения (до 15 сут.) нефтепродуктов в эластичных резервуарах.

Реальное время, соответствующее безразмерному времени $D\tau/l^2 = 0,2$, равно 3,1 сут. За 6,2 сут. выйдет около 80% от рассчитанной величины по стационарному, за 9,3 сут. - 86%.

Предложенный алгоритм и математические модели определения технологических потерь, с учётом нестационарного режима измерения топливопроницаемости конструкционного материала эластичных резервуаров позволяют существенно (до 40%) повысить точность нормирования естественной убыли углеводородных топлив на полевых складах горючего.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рудобашта С.П., Карташов Э.М. Диффузия в химико-технологических процессах. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: КолосС, 2010.
2. Карслоу Г., Егер Д. Теплопроводность твердых тел. - М.: Наука, 1964.
3. Васин С.И., Филиппов А.Н. Проницаемость сложнопористых сред // Коллоидный журнал. - 2009. - Т.71. - № 1. - С. 32-46.
4. Отчет о НИР Исследование по разработке норм естественной убыли нефтепродуктов при хранении и транспортировке. - ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны РФ». Шифр «Свирск-4», 2009.
5. Пат. Российская Федерация. Автоматизированная установка определения массы нефтепродукта в эластичном резервуаре при хранении / Рыбаков Ю.Н., Ванчугов Н.А., Харламова О.Д., Пирогов Ю.Н. - № 111639; заявл. 31.08.2011; опубл. 20.12.2011; Б.И. № 35.
6. Пат. Российская Федерация. Способ определения массы нефтепродукта при хранении в эластичном резервуаре / Рыбаков Ю.Н., Ванчугов Н.А., Харламова О.Д., Пирогов Ю.Н. - № 2470264; заявл. 20.07.2011; опубл. 20.12.2012; Б.И. № 35.

IMPROVING OF HYDROCARBON FUELS ACCOUNTING IN FUEL FARMS

Ribakov Y.N., Chirikov S.I., Kyunnap R.I.

The article outlines the theoretical approaches to the assessment of technological losses of petroleum products during storage in flexible tanks with flexible account of steady and unsteady regimes fuels diffusion through structural material of tanks. The proposed algorithm and mathematical model for determining technological losses, taking into account the unsteady measurement mode structural material elastic reservoirs, can significantly (up to 40 %) improve the accuracy of the valuation of natural loss of hydrocarbon fuels at fuel depots field.

Key words: flexible tanks, fuel dumps, wastage, technological losses, motor and aviation fuel, the diffusion coefficient, the algorithm and mathematical models, valuation.

Сведения об авторах

Рыбаков Юрий Николаевич, 1961 г.р., окончил МИНХ и ГП им. И.М. Губкина (1983), кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заслуженный изобретатель РФ, начальник 23 отдела «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», автор более 200 научных работ, область научных интересов – нефтепродуктообеспечение, полимерные материалы.

Чириков Сергей Игоревич, 1990 г.р., окончил МАТИ (2013), младший научный сотрудник 23 отдела «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», автор 5 научных работ, область научных интересов – полимерные материалы.

Кюннап Роман Игоревич, 1989 г.р., окончил УВВТУ (ВИ) (2011), младший научный сотрудник 23 отдела «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», автор 7 научных работ, область научных интересов – технические средства нефтепродуктообеспечения.