

УДК 662.753.22

С.В. Бойченко

## МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕРЬ ТОПЛИВ ОТ ИСПАРЕНИЯ

*В целях решения проблемы потерь топлив от испарения важной задачей является выбор метода оценки этих потерь. Произведен анализ существующих методов. Среди этих методов: оценка динамической испаряемости путем продувки пробы топлива десятикратным объемом воздуха, метод непосредственного сравнения образцов, исследование оптических свойств топлива. Развивая идею рефрактометрического метода определения потерь от испарения, предлагается комплексная методика, основанная на графическом и рефрактометрическом способе оценки этих потерь.*

Доказано, что проблема потерь нефти и нефтепродуктов от испарения носит актуальный, приоритетный характер одной из важнейших народно-хозяйственных задач государственного значения. По предварительным оценкам, полное предотвращение потерь от испарения будет адекватно дополнительному производству до 20 % топлив.

Предотвращение потерь от испарения является одним из основных направлений экономии и рационального использования ценнейшего углеводородного сырья и защиты окружающей среды от загрязнения летучими углеводородами.

Сложность решения этой проблемы состоит как в технико-экономическом обосновании выбора того или иного мероприятия по обеспечению сохранности продукта, так и его внедрения в практику предприятий нефтепродуктообеспечения. Кроме того, в проведении этих работ существует сложность выбора метода оценки этих потерь, важность которого состоит как при прогнозировании количественных и качественных изменений нефтепродуктов, так и при проведении различных исследовательских работ. Достоверная оценка этих потерь имеет огромное влияние также и при обосновании норм естественной убыли нефтепродуктов.

Разнообразие методов исследования потерь нефтяных топлив от испарения достаточно широко и подробно описываются в работах А.А. Гуреева [1], П.А. Рыбакова [2], А.С. Ирисова [3], В.С. Яковлева [4] и других. Многие из существующих методов представляют значительный интерес для науки и практики. Но задача состоит в выборе наиболее оптимального метода определения этих потерь.

Так, метод определения динамической испаряемости, разработанный П.И. Бударовым, приобрел значение стандартного в виде ГОСТ 6369-75. За потери по этому методу условно принимается убыль в весе нефтепродукта после продувки его десятикратным объемом воздуха при температуре 20 °С на приборе, изображенном на рис. 1. Показатель потерь от испарения ( $G$ ) определяется по формуле:

$$G = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 ,$$

где  $m_1, m_2$  – масса пробы топлива соответственно до и после испарения, г.

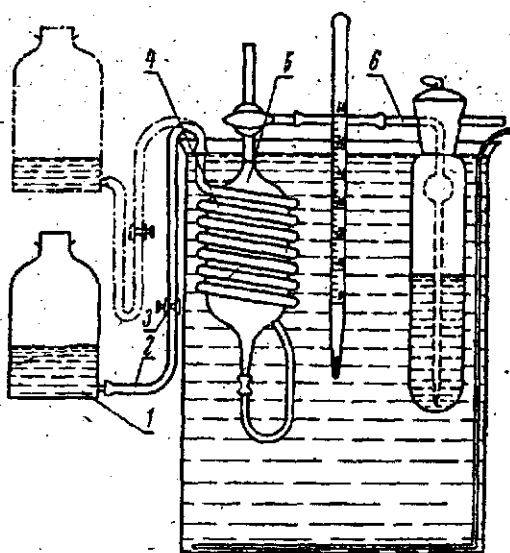


Рис. 1. Прибор для определения потерь топлив от испарения:  
1 – напорная склянка; 2 – соединительная трубка; 3 – зажим;  
4 – змеевик; 5 – капиллярный мерник; 6 – пробирка

Известен метод определения потерь от испарения, в основу которого положено непосредственное сравнение образцов исследуемого продукта до и после испарения [5]. Сущность данного метода (рис. 2) состоит в выпаривании исходной и конечной проб испытуемого нефтепродукта при определенной температуре в условиях вакуума. Потери от испарения при этом рассчитываются по формуле:

$$G = \frac{m_1 - m_2}{1 - \frac{m_2}{100}},$$

где  $m_1, m_2$  – потери соответственно исходного и конечного образца, %.

Для проверки точности определения потерь от испарения этим методом авторы провели испытания образцов авиационного бензина марки Б-100/130, реактивного топлива марки Т-1 и их смесей. Абсолютная погрешность при этом не превышала 0,8 %.

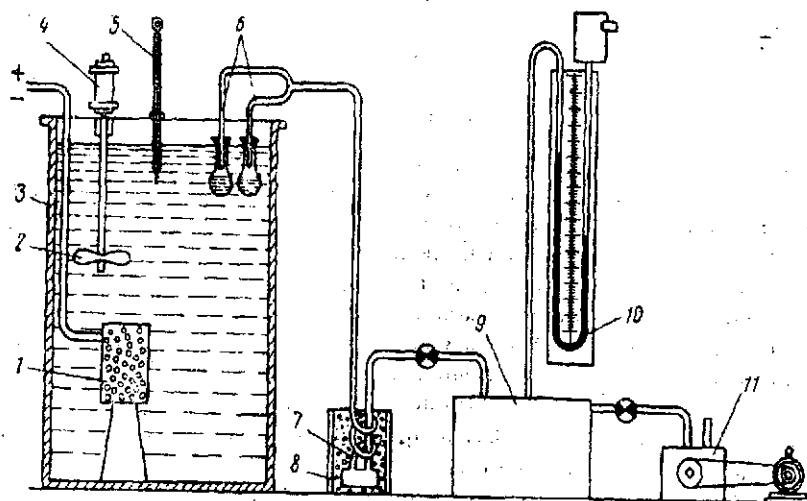


Рис. 2. Прибор для определения потерь топлива от испарения методом непосредственного сравнения образцов:  
1 – подогреватель; 2 – мешалка; 3 – термостат; 4 – электромотор; 5 – термометр;  
6 – колбочки с образцами исследуемого топлива; 7 – ловушка; 8 – углекислота;  
9 – ресивер; 10 – пьезометр; 11 – вакуум-насос

На предприятиях нефтепродуктов обеспечения в настоящее время широко используется объемно-массовый метод (ГОСТ 26979-86) с применением специальных калибровочных таблиц для каждой емкости (статический метод), температурного режима, значения плотности, уровня разлива нефтепродукта, уровня и объема подтоварной воды. Кроме того, для проведения учетно-расчетных операций применяется так называемый динамический метод (ГОСТ 26979-86). Объем продукта при этом измеряют непосредственно в потоке топлива при помощи счетчиков или преобразователей расхода. В этом же нормативном документе установлен гидростатический метод, при применении которого измеряют гидростатическое давление столба продукта, определяют среднюю площадь заполненной части резервуарной емкости и рассчитывают массу продукта как произведение значений этих величин, деленное на ускорение силы тяжести.

Определенный интерес представляет метод, в основу которого положен тот факт, что при хранении топлив прежде всего испаряются наиболее низкокипящие углеводороды. Поэтому, если в топливо добавить более высокомолекулярное вещество, хорошо в нем растворяющееся и не ухудшающее его качество, то в процессе хранения будет происходить увеличение концентрации топлива. По разности концентраций этого вещества в топливе, определенных перед началом хранения и после, определяют значение фактических потерь от испарения:

$$G = \frac{c_2 - c_1}{c_2} \cdot 100 ,$$

где  $c_1, c_2$  – концентрация вещества в топливе соответственно до и после хранения, г/кг.

Анализируя возможность применения этого метода, можно сделать вывод о том, что существует ряд факторов, которые не позволяют просто, быстро и точно решить проблему оценки потерь. Во-первых, – это подбор вещества, а во-вторых, – определение его концентрации.

Широкое применение, благодаря своей простоте, нашли так называемые расчетные методы определения потерь. Расчетные эмпирические формулы определения потерь при малых и больших «дыханиях» резервуаров, разработанные Н.Н. Константиновым [6], определение величины потерь при разнообразных технологических операциях с нефтепродуктом по Ф.Ф. Абузовой [7] – далеко не полный перечень этих методов. Коллектив авторов [8], основываясь на практическом исследовании резервуарного парка, предложил эмпирическое уравнение для определения среднеквартальных потерь нефти и нефтепродуктов:

$$G = 5 \cdot V \frac{P_s}{P_2} \cdot \rho_{cp} \cdot K_1 \cdot K_2 ,$$

где  $V$  – объем нефтепродукта, поступившего в резервуар, м<sup>3</sup>;  $P_s$  – давление насыщенных паров нефтепродукта при температуре газового пространства, кПа;  $P_2$  – давление в газовом пространстве резервуара, кПа;  $K_1, K_2$  – коэффициенты.

Коэффициент  $K_1$  учитывает зависимость квартальных потерь нефтепродуктов от оборачиваемости резервуаров  $N$  (рис. 3), а  $K_2$  – наличие технических средств для предотвращения потерь и условия эксплуатации емкостей (см. таблицу).

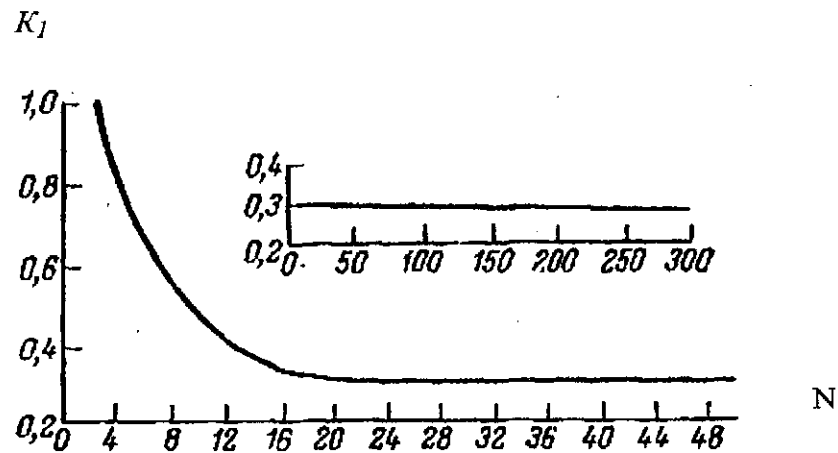


Рис. 3. Зависимость коэффициента  $K_1$  от квартальной оборачиваемости резервуаров

Наиболее широко применяется упрощенное уравнение общих потерь (основное уравнение потерь):

$$G = \left( V_1 \cdot \left( P_1 - \frac{P_1^s}{T_1} \right) - V_2 \cdot \left( P_2 - \frac{P_2^s}{T_2} \right) \right) \cdot \frac{P_f \cdot M}{P - P_f} \cdot R,$$

где  $V_1$  и  $V_2$  – объемы газового пространства резервуара соответственно при температурах  $T_1$  и  $T_2$ , давлениях  $P_1$  и  $P_2$ ;  $P_1^s$  и  $P_2^s$  – давление насыщенных паров топлива при температурах  $T_1$  и  $T_2$ ;  $P_f$  – парциальное давление паров;  $P$  – абсолютное значение давления в газовом пространстве ( $P = \frac{1}{2}(P_1 + P_2)$ );  $M$  – молекулярная масса паров топлива;  $R$  – универсальная газовая постоянная.

Значение коэффициента  $K_2$  для различных типов резервуаров

Назначение резервуара	Тип резервуара				
	наземный	металлический		подземный	железобетонный
	без средств снижения потерь	с плавающими крышами или понтонами	с газоуравнивающей системой	без средств снижения потерь	с газоуравнивающей системой
Резервуар – «мерник»	1	0,2	0,2	0,8	0,1
Резервуар – «буферная емкость»	0,1	0,05	0,05	0,15	–

В зарубежной практике в качестве оценки склонности бензинов к образованию паровых пробок и к потерям от испарения применяется так называемый индекс испаряемости (индекс паровой пробки). Например, в США испаряемость бензинов регламентируют индексом испаряемости по параметрам его фракционной разгонки:

$$\text{ИИ} = 2,7 \cdot T_{10} + 5,4 \cdot T_{50} + 1,8 \cdot T_{90} + 176,$$

где  $T_{10}$ ,  $T_{50}$ ,  $T_{90}$  – температуры выкипания соответственно 10, 50, 90 % объемов бензина, °С.

Согласно международному EN 228 «Автомобильные топлива. Неэтилированный бензин. Требования и методы испытаний» и российскому ГОСТ Р 51105-97 «Топлива для двигателей внутреннего сгорания. Неэтилированный бензин. Технические условия» индекс испаряемости определяется как:

$$\text{ИИ} = 10 \cdot P_s + 7 \cdot V_{70},$$

где  $V_{70}$  – объем испарившегося топлива при температуре 70 °С, %.

Достаточно точными методами определения потерь топлив от испарения являются методы хроматографии, масс-спектрометрии, хромато-и масс-спектрометрии [4] и др. Использование этих методов пока не нашло широкого применения из-за их значительной трудоемкости, повышенных требований к квалификации специалистов, дорогостоящей аппаратуры, которая используется при проведении анализа.

Простотой и достаточно высокой точностью обладает метод определения потерь от испарения, основанный на исследовании оптических свойств продукта. Определение потерь по этому методу ведется при помощи рефрактометра любого типа, точность определения показателя преломления которого обуславливает точность определения величины потерь. По данным автора [9], погрешность этого метода колеблется в пределах 0,1-0,001 %. Но при этом данный метод обладает существенным недостатком, так как в основной формуле расчета потерь необходимо применение третьего компонента с показателем преломления  $N_D=1,3800-1,3900$ :

$$a = \frac{N_{D3} - N_{D0}}{N_{D3} - N_{D1}} \cdot 100 + 0,1,$$

где (100-a) – потери исследуемого нефтепродукта;  $N_{D0}$  – показатель преломления исходного продукта;  $N_{D1}$  – показатель преломления продукта после испарения;  $N_{D3}$  – показатель преломления третьего компонента.

Таким образом, анализируя этот метод, приходим к выводу об ограниченном его применении в целях установления величины потерь нефтепродуктов от испарения.

К условиям эксплуатации авиационной техники, условиям применения авиационных топлив существует ряд лабораторных и стендовых методов непосредственной оценки потерь от испарения. Достаточно подробно эти методы описаны в сборниках [2,9]. Отметим только тот факт, что преимущество лабораторных методов состоит в возможности получения приблизительной оценки потерь топлив в различных условиях. Однако лабораторные методы из-за своих ограниченных возможностей не могут полностью воспроизвести все условия, которые определяют процесс испарения топлива в топливной системе самолета в условиях его полета. Поэтому для получения объективной характеристики применяют стендовые и летные испытания. Одним из примеров летных исследований является метод оценки потерь при помощи оборудования, изображенного на рис. 4 [2].

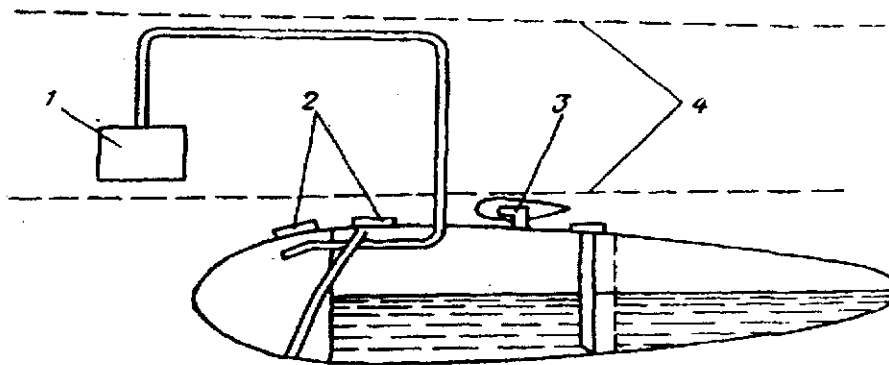


Рис. 4. Оборудование подвесного топливного бака самолета для определения потерь топлива от испарения:

- 1 – регистратор давления; 2 – заливные горловины;  
3 – дренаж; 4 – контур фюзеляжа самолета

Ограниченность применения таких методов обусловлена их сложностью и огромными материальными затратами на их осуществление.

Развивая идею рефрактометрического метода определения потерь от испарения, целесообразно использовать методику, основанную на комплексном применении графического и рефрактометрического способов оценки этих потерь. Порядок выполнения этого метода состоит в последовательном выполнении ряда операций:

- отбора пробы (100 мл) исследуемого нефтепродукта и определения его показателя преломления;
- проведении фракционирования данной пробы путем постепенного испарения. Каждая фракция при этом отбирается в отдельную посуду;
- определении показателей преломления каждой отдельной фракции исследуемого продукта;
- построении по полученным данным графика зависимости потерь от испарения и показателя преломления;
- отбора пробы исследуемого нефтепродукта, который был подвергнут длительному хранению в промышленных условиях и определения значения ее показателя преломления;
- определении искомой величины потерь при помощи постоянного "тарировочного" графика.

Оценка точности результатов измерений производится по значению среднеквадратичной погрешности, стандартному отклонению и выборочному коэффициенту вариации [11,12].

Методология проведения этой оценки состоит в последовательном выполнении таких операций:

- 1) расчет значения среднего арифметического:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i ;$$

- 2) определение средне-квадратического отклонения:

$$s = \sqrt{\frac{1}{1-n} \left( \sum_{i=1}^n x_i^2 - \frac{\left( \sum_{i=1}^n x_i \right)^2}{n} \right)} ;$$

3) вычисление среднеквадратичной погрешности среднего арифметического:

$$\sigma = \frac{S}{\sqrt{n}};$$

4) расчет стандартного отклонения (допустимой (абсолютной) погрешности):

$$\Delta\chi = \sigma \cdot t,$$

где  $t$  – коэффициент Стьюдента (выбирается при помощи специальных таблиц);

5) определение выборочного коэффициента вариации (относительной среднеквадратичной погрешности):

$$\varepsilon = \left( \frac{\Delta\chi}{\chi} \right) \cdot 100 \% .$$

Таким образом, проанализировав существующие в настоящее время методы оценки потерь топлив от испарения и предложив новую методику определения этих потерь с большей точностью, меньшей трудоемкостью и материальными затратами, создается реальная предпосылка как для технико-экономического обоснования выбора мероприятия по предотвращению безвозвратных потерь нефти и нефтепродуктов от испарения, так и для обоснования реальных норм их естественной убыли.

#### Список литературы

1. Гуреев А.А., Камфер Г.И. Испаряемость топлив для поршневых двигателей. – М.: Химия, 1982. – 264 с.
2. Рыбаков П.А., Тарарышкин М.Е. Методы оценки потерь топлива от испарения в баках самолетов // Методы оценки эксплуатационных свойств реактивных топлив и смазочных материалов/Под ред. Б.Д. Залогои. – М.: Машиностроение, 1966. – С.69–86.
3. Ирисов А.С. Испаряемость топлив для поршневых двигателей и методы ее исследования. – М.: Гостоптехиздат, 1955. – 288 с.
4. Яковлев В.С. Хранение нефтепродуктов. Проблема защиты окружающей среды. – М.: Химия, 1987. – 150 с.
5. Путьковская С.С., Тихонов Н.И. Определение потерь топлива от испарения методом непосредственного сравнения образцов // Нефтяное хозяйство, 1955. – № 9. – С.78–82.
6. Константинов Н.Н. Борьба с потерями от испарения нефти и нефтепродуктов. – М.: Гостоптехиздат, 1961. – 260 с.
7. Абузова Ф.Ф. Борьба с потерями нефти и нефтепродуктов при их транспортировке и хранении. – М.: Недра, 1981. – 248 с.
8. Моряков В.С., Татарников Л.Л., Кардаш Е.Я., Ярмухаметов А.С. Потери нефти и нефтепродуктов при эксплуатации резервуаров на НПЗ // Химия и технология топлив и масел, 1977. – № 8. – С. 8–10.
9. Бойченко С.В. Оценка количественных потерь авиационных топлив от испарения в топливном баке в условиях полета самолета // Проблеми експлуатації та надійності авіаційної техніки: Збірник наукових праць. – К.: КМУЦА, 1997. – 170 с.
10. Беньковский В.Г. Рефрактометрическое определение потерь нефти от испарения// Нефтяное хозяйство. – 1948. – № 7. – С.46–48.
11. Тойберт П. Оценка точности результатов измерений / Пер. с нем. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 88 с.
12. Романенко В.Н., Орлов А.Г., Никитина Г.В. Книга для начинающего исследователя-химика. – Л.: Химия, 1987. – 280 с.