

ЛОГИСТИКА И ТРАНСПОРТНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 614.841

В. А. Бобыр,

канд. техн. наук, доцент, капитан дальнего плавания,
Одесская национальная морская академия

СУДОВАЯ ЭРГАТИЧЕСКАЯ ФУНКЦИЯ СОКРАЩЕНИЯ ПОТЕРЬ НЕФТИ ОТ ИСПАРЕНИЯ

SHIP ERGATIVE FUNCTION CRUDE OIL LOSS REDUCTION FROM EVAPORATION

На основе использования энтропийного подхода получена информация об условиях, при которых энтропия судовой эргатической функции (СЭФ) сокращения потерь нефти от «малых дыханий» в подпалубном пространстве грузового танка танкера равна нулю. В результате была разработана методика по контролю за температурой в газовом пространстве грузовых танков танкеров, позволяющая сократить потери нефти от «малых дыханий».

On the basis of using the entropic approach an information was received with regard to conditions ensuring zero entropy of the ship ergative function reduction of crude oil loss from “small breath” in the under deck space of tanker cargo tanks. As a result a method was developed to monitor temperature in the tanker cargo tank gas space which allows reducing crude oil loss from “small breath”.

Ключевые слова: судовая эргатическая функция, энтропия, потери нефти от «малых дыханий», техническая система преобразований, чувствительность СЭФ.

Key words: ship ergative function (SEF), entropy, crude oil loss from “small breath”, technical transformation system, SEF sensibility.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами

На танкере при перевозке груза нефти и нефтепродуктов (в дальнейшем — нефти) происходит газообмен между паровоздушной смесью, содержащейся в подпалубном пространстве грузовых танков, и внешней атмосферой. Выброс этой паровоздушной смеси в атмосферу в современных условиях, когда мировым сообществом прикладываются огромные усилия для защиты Земли от загрязнений, является крайне нежелательным явлением, так как, во-первых, это приводит к загрязнению окружающей среды, усилению парникового эффекта, загрязнению рабочей среды на судне и значительным потерям груза, а также создает пожарную опасность на судне и т. п. А во-вторых, при испарении теряются наиболее ценные фракции нефти. При этом потери нефти за один рейс продолжительностью 3–4 недели могут превышать 0,7 % от общего количества груза [1].

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы, и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

Основными средствами для снижения испарения с поверхности нефти в танках и уменьшения их потерь в настоящее время являются:

— дыхательные клапаны, устанавливаемые на газоотводной системе танкеров и сконструированные так, чтобы давление в подпалубном пространстве грузовых танков не превышало 0,125 кгс/см² и не снижалось более чем на 0,025 кгс/см² ниже атмосферного давления;

— системы орошения грузовой палубы — в средней части грузовой палубы прокладывается трубопровод с отрезками на оба борта, к которому по пожарной магистрали подводится морская вода и через распылители разбрызгивается на палубу [2].

На танкерах потери от выбросов паров нефти в атмосферу происходят главным образом от так называемых «больших» и «малых дыханий»

«Большие дыхания» на наливном судне — это разовое вытеснение из танков паровоздушной смеси при наливке груза и в дальнейшем из-за его нагрева при переходе судна из холодной воды в теплую. Как правило, в большинстве портов налива паровоздушная смесь удаляется в береговые резервуары через газоотводную систему судна, соединенную с газоотводной системой берега, и поэтому потерей не является. Однако паровоздушная смесь, образовавшаяся из-за нагрева груза, удаляется через газоотводную систему судна в окружающую атмосферу, и предотвратить эти потери пока не представляется возможным. Следует обратить внимание на тот факт, что «большое дыхание» может продолжаться и в течение рейса, если танкер следует из холодных вод в теплые. Прекращается оно только после того, когда средняя температура груза в танках достигнет температуры забортной воды [3, с. 10–14].

Для предотвращения потерь от «малых дыханий» в практике перевозки нефти на танкере на данный момент существуют только общие рекомендации о том, что системы орошения грузовой палубы следует включать при плавании в жаркую солнечную погоду, особенно в тропиках [4]. Эти рекомендации не являются выводом из результатов специальных исследований по сокращению потерь нефти от «малых дыханий» на танкерах. Это попытки использования на морских наливных судах рекомендаций, полученных при исследовании проблемы сокращения потерь нефти от испарения из береговых резервуаров, что является необоснованным и неэффективным. Например, установлено, что бесконтрольная работа дыхательных клапанов совместно с орошением грузовой палубы забортной водой на танкерах не является оптимальной для сокращения потерь от «малых дыханий» [5, с. 5–8]. Это связано с отсутствием обоснованных критериев для включения в работу системы орошения из-за недостаточной изученности процессов тепло- и массообмена при испарении нефти из танков на танкерах. Поэтому проблема обеспечения инструментального контроля за «малыми дыханиями» при перевозке нефти морем на танкерах остается нерешенной.

Формулирование целей статьи и постановка задачи

Целью статьи является использование энтропийного подхода к изучению судовой эргатической функции (СЭФ) сокращения потерь нефти от испарения.

Задача статьи — на основе информации, полученной при исследовании физических процессов испарения нефти в подпалубном пространстве грузовых танков танкера при перевозке морем, разработать методику по сокращению потерь нефти от «малых дыханий».

Изложение материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

С позиций энтропийного подхода необходимо получить информацию для уменьшения энтропии судовой эргатической функции «малого дыхания» в результате необратимых преобразований, вызываемых физическими процессами и преобразованиями одних видов энергии в другие внутри СЭФ при обеспечении сокращения потерь груза при «малых дыханиях». При условии, что энтропия эргатической функции равна нулю, если имеется полная информация о ее состоянии, количество информации о «малых дыханиях» должно быть таким, чтобы чувствительность процесса сокращения потерь груза от «малых дыханий», или, другими словами, неустранимые потери груза из-за погрешности оператора при реализации эргатической функции, была на порядок меньше величины допустимых потерь наливного груза при перевозке морем.

В технической системе преобразований СЭФ «малые дыхания» для получения требуемой информации о процессе тепло- и массопереноса в грузовом танке необходимо рассмотреть взаимодействие только трех элементов этой СЭФ — судна, груза и окружающей среды (рис. 1), поскольку цель преобразования — обеспечить инструментальный контроль этого процесса.

В рассматриваемой технической системе преобразований будут две функции связи: природная среда–груз и оператор–судно, которые должны характеризовать:

- изменение температуры газового пространства (ГП) грузовых танков;
- режимы включения системы орошения грузовой палубы.

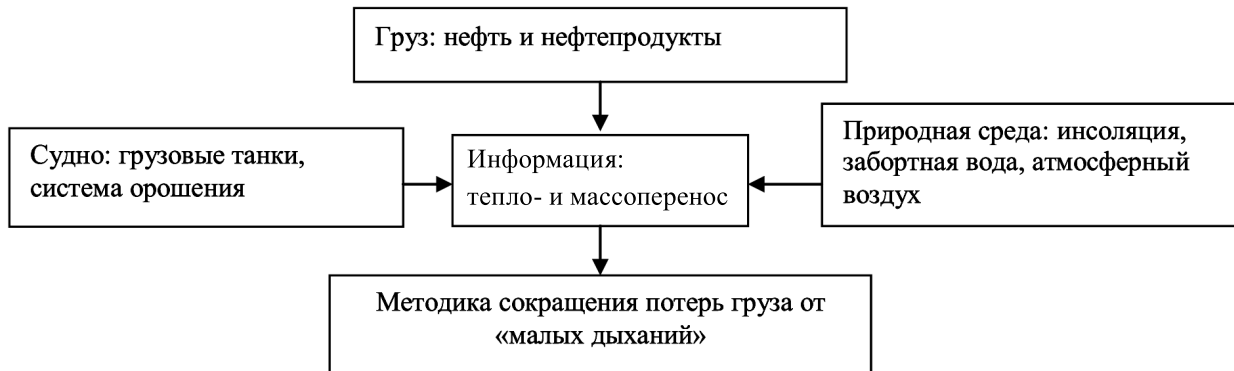


Рис. 1. Схема технической системы преобразований операций по сокращению потерь груза от «малых дыханий» при перевозке нефти морем

Потери от «малых дыханий» происходят на переходе танкера морем вследствие действия на грузовую палубу и наружную обшивку бортовых грузовых танков в основном солнечной радиации (инсоляции), а также атмосферных явлений — барометрического давления и осадков. Из-за этого в газовом пространстве (ГП) грузовых танков происходят колебания температуры, что вызывает изменение парциального давления нефти. Колебания температуры и парциального давления нефти приводят к соответствующим колебаниям абсолютного давления в ГП грузовых танков. Повышение температуры и парциального давления в ГП вызывает увеличение в нем абсолютного давления — P_{Γ} . По достижении последним значения $P_{\Gamma} = P_a + p_{к.д.}$ открывается дыхательный клапан и из грузового танка в атмосферу вытесняется паровоздушная смесь — происходит «выдох». Вытеснение паровоздушной смеси продолжается до тех пор, пока абсолютное давление P_{Γ} не становится равным атмосферному — P_a и выход паровоздушной смеси прекращается. Если абсолютное давление в ГП танков становится ниже барометрического и достигает значения вакуума, на которое отрегулирован дыхательный клапан газоотводной системы, последний открывается и в танк поступает атмосферный воздух — происходит «вдох». Абсолютное давление в газовом пространстве $P_{\Gamma} = P_a - p_{к.в.}$, где P_a — атмосферное (барометрическое) давление. Когда абсолютное давление P_{Γ} становится равным атмосферному P_a , вход воздуха прекращается. Продолжительность полного цикла, как правило, равна суткам. С повышением температуры и парциального давления в ГП снова происходит «выдох» и т. д. После полудня начинается «выдох», а на рассвете — «вдох». Все эти явления и приводят к потерям от «малого дыхания».

Таким образом, потери от «малых дыханий» происходят вследствие циклических колебаний температуры и парциального давления в ГП, вызываемых суточным действием солнечной радиации и атмосферных условий на наружные стенки бортовых танков и грузовую палубу.

Потери от «малых дыханий» для заданных нефти, нагрузки дыхательных клапанов и вместимости грузовых танков зависят от:

- объема газового пространства грузовых танков;
- количества получаемой грузовыми танками солнечной радиации;
- интенсивности переноса паров от поверхности нефти;
- насыщенности парами ГП.

При прочих равных условиях потери от «малых дыханий» возрастают с увеличением объема ГП грузовых танков. С повышением солнечной радиации возрастают амплитуды колебания температуры ГП и поверхности груза нефти, что приводит к усилению интенсивности переноса паров от поверхности нефти и увеличению парциального давления в ГП. Это обуславливает насыщение ГП парами нефти и соответственно рост потерь от «малых дыханий».

Потери нефти от одного «малого дыхания» в грузовом танке танкера можно определить по формуле [6]:

$$M_{\text{м.д}} = DV_{\text{п}} \ln \left(\frac{P - p_{\text{к.в}} - p_{\text{мин}}}{P + p_{\text{к.д}} - p_{\text{max}}} \cdot \frac{T_{\text{max}}}{T_{\text{мин}}} \right), \quad (1)$$

где D — среднее массовое содержание паров нефти в паровоздушной смеси подпалубного пространства грузового танка; $V_{\text{п}}$ — объем паровоздушной смеси в грузовом танке; P — атмосферное давление; $p_{\text{мин}}$ и p_{max} — минимальное и максимальное парциальное давление нефти в газовом пространстве танка в течение суток; $p_{\text{к.в}}$ — вакуум в газовом пространстве танка, соответствующий нагрузке клапана вакуума; $p_{\text{к.д}}$ — избыточное давление нефти в газовом пространстве танка, соответствующее нагрузке клапана давления; $T_{\text{мин}}$ и T_{max} — минимальная и максимальная температуры в газовом пространстве танка в течение суток.

Формальное условие того, что энтропия СЭФ сокращения потерь нефти от испарения равна нулю, то есть «выдоха» от «малого дыхания» из газового пространства танков на судне не будет, $M_{\text{м.д}} = 0$, получаем из формулы (1):

$$\frac{P - p_{\text{к.в}} - p_{\text{мин}}}{P + p_{\text{к.д}} - p_{\text{max}}} \cdot \frac{T_{\text{max}}}{T_{\text{мин}}} = 1. \quad (2)$$

Величины $p_{\text{мин}}$ и p_{max} можно получить на основе [7] как давление насыщенных паров нефти при температуре в газовом пространстве танка $T_{\text{max/min}}$ по формуле

$$p_{\text{max/min}} = 1,29(T_{\text{max/min}}/38)^{0,69}(V_{\text{г}}/V)^{0,19} p_{38} = 0,007 T_{\text{max/min}} p_{38} \quad (3)$$

где $V_{\text{г}}$ — объем груза в танке; V — объем танка; p_{38} — паспортное давление насыщенных паров нефти при температуре 38 °С; $V_{\text{г}}/V = 0,95$ при полной загрузке танкера.

После подстановки (3) в (2) и упрощений:

$$(P - p_{\text{к.в}} - 0,007 p_{38} T_{\text{мин}}) T_{\text{max}} = (P + p_{\text{к.д}} - 0,007 p_{38} T_{\text{max}}) T_{\text{мин}}. \quad (4)$$

Тогда температурный режим, при котором «выдоха» от «малого дыхания» из газового пространства танков на судне не будет, определяется из формулы (4) как

$$T_{\text{max}} = T_{\text{мин}} (P + p_{\text{к.д}}) / (P - p_{\text{к.в}}). \quad (5)$$

С учетом того, что $P = 1,00$ кгс/см², $p_{\text{к.д}} = 0,125$ кгс/см² и $p_{\text{к.в}} = 0,025$ кгс/см², из (5) получаем

$$T_{\text{max}} = 1,15 T_{\text{мин}}. \quad (6)$$

Выражение (6) служит основой для разработки методики по сокращению потерь груза нефти от «малых дыханий» в грузовых танках на переходе морем, чтобы взять под контроль процесс изменения парциального давления паров груза в газовом пространстве танка.

Учитывая, что «малые дыхания» обусловлены главным образом действием инсоляции, а ее влияние на танкере можно компенсировать только путем орошения грузовой палубы и бортов судна морской водой, необходимо обеспечить измерение минимальной и максимальной температуры в течение суток ($T_{\text{мин}}$ и T_{max}) в газовом пространстве грузового танка.

Прежде всего рассмотрим особенности инсоляции, действующей на судно на переходе морем. При этом различают астрономическую, вероятную и фактическую инсоляции [8]. Однако для нас представляет интерес только фактическая инсоляция, которая всегда отличается от остальных двух. В общем случае фактическая инсоляция, действующая на судно, зависит от состояния атмосферы и облачного покрова, времени года, места судна, его размера и курса, погодных условий. В каждом частном случае она может быть определена лишь натурными наблюдениями. Существенными характеристиками фактической инсоляции для сокращения потерь груза из-за «малых дыханий» являются время начала и окончания действия инсоляции на судно. При этом важно знать, когда максимальная температура в газовом пространстве грузовых

танков не отвечает требованиям условия (6). В литературе имеются данные о том, что в земной атмосфере при высоте солнца менее 8° солнечные лучи не содержат активного энергетического излучения [8]. Поэтому в зависимости от широты места и времени года в течение 1–2 ч после восхода и перед заходом солнца инсоляция практически не влияет на газовое пространство грузовых танков.

Влияние инсоляции на газовое пространство бортовых и центральных танков различно. В работе [9, с. 47–60] показано, что температура газового пространства в бортовых грузовых танках танкера в среднем на 5°C больше, чем в центральных танках.

На этой основе методика сокращения потерь груза от «малых дыханий» в части определения функции связи оператор–судно по обеспечению необходимых режимов включения системы орошения грузовой палубы будет заключаться в следующем.

1. Измеряют начальную температуру (T_{\min}) в газовом пространстве одного грузового бортового танка, на который лучи солнца падают под наибольшим углом, начиная с момента, когда высота светила достигнет 8° .

2. Продолжают измерение температуры через каждый час.

3. В момент, когда температура в газовом пространстве (T_{\max}) превысит начальную температуру (T_{\min}) на 2–3 $^\circ\text{C}$, включают орошение грузовой палубы заборной водой.

4. Продолжают измерения температуры в газовом пространстве танка.

5. Если температура в газовом пространстве танка начинает повышаться, увеличивают расход воды на орошение грузовой палубы.

6. Орошение грузовой палубы прекращают после того, как начнется уменьшение температуры в газовом пространстве танка.

7. Измерение температуры в газовом пространстве танка прекращают, когда высота солнца достигнет 8° .

Таким образом, предложенная методика на основе (6) позволяет взять под инструментальный контроль процесс предотвращения «малых дыханий» на танкере путем измерений температуры T_{\min} и T_{\max} в газовом пространстве грузовых танков.

Далее необходимо проверить, обеспечивает ли предложенная методика требуемую чувствительность рассматриваемой судовой эргатической функции.

После дифференцирования (1) по $M_{\text{м.д}}$ и T и перехода к конечным приращениям получаем выражение для функции связи природная среда–груз СЭФ по предотвращению потерь груза от «малых дыханий», которое характеризует величину потерь от изменения температуры газового пространства (ГП) грузовых танков:

$$\Delta M_{\text{м.д}} = KDV_{\text{п}} \left[\frac{1}{(P - p_{\text{к.в}} - p_{\text{мин}})T} + \frac{1}{(P + p_{\text{к.д}} - p_{\text{макс}})T} \right] \Delta T, \quad (7)$$

где $K = 0,4343$ — модуль перехода от натуральных логарифмов к десятичным; ΔT — суммарная погрешность оператора в определении минимальной и максимальной температур (T_{\min} и T_{\max}) в течение суток в газовом пространстве грузового танка.

Примем, что среднее значение p_{38} для нефти равно $0,2 \text{ кгс/см}^2$; среднее массовое содержание паров нефтепродукта в паровоздушной смеси в подпалубном пространстве грузовых танков $D = 1,4 \text{ кг/м}^3$ [7]; объем газового пространства грузовых танков танкера грузоподъемностью 100 тыс. т в полном грузу — 5000 м^3 ; $\Delta T = 2\sigma T\sqrt{2}$ — суммарная погрешность двух измерений температур со стандартной погрешностью одного измерения $\sigma_T = \pm 1^\circ\text{C}$ при доверительной вероятности 0,95; минимальное значение температуры в подпалубном пространстве танков в условиях тропиков $T_{\min} = 29^\circ\text{C}$ [9]. Тогда после подстановок в (7) этих данных, а также с учетом условия (3) и того, что $P = 1,00 \text{ кгс/см}^2$, $p_{\text{к.д}} = 0,125 \text{ кгс/см}^2$ и $p_{\text{к.в}} = 0,025 \text{ кгс/см}^2$, потери от одного «малого дыхания» составят 4 т в сутки, а за рейс при переходе через океан продолжительностью 15 сут — около 60 т при допустимой величине потерь нефти за рейс, например при плавании в Черноморском бассейне — 0,45 % [10]. В данном случае потери составляют 4500 т.

Выводы и перспективы работы по данному направлению

Таким образом, полученное количество информации о состоянии данной эргатической функции в части «малых дыханий» обеспечивает такую чувствительность процесса сокращения потерь груза от «малых дыханий», при которой неустранимые потери груза из-за погрешности оператора СЭФ при ее реализации на два порядка меньше величины допустимых потерь наливного груза при перевозке морем.

Эффективность приведенной методики была подтверждена натурным экспериментом в эксплуатационных условиях на танкере «Джамбур» Иракской нефтяной компании на переходах между портами Персидского залива и Аравийского моря в июне–августе, а также на научно-производственном судне ОБО «Маршал Гречко» ОАО «Новошип» в океанских переходах в летний период между портом «Новороссийск» и портами Кубы.

Выражение (6), характеризующее температурный режим, при котором «выдоха» от «малого дыхания» из газового пространства танков на судне не будет, может служить основой для разработки автоматизированной системы по сокращению потерь груза от «малых дыханий» на танкере на переходе морем.

Список литературы

1. *Кутыркин В. А.* Специальные системы нефтеналивных судов: справ. / В. А. Кутыркин, В. И. Постников. — М.: Транспорт, 1983. — 192 с.
2. *Осташев А. В.* Донкерман наливного судна / А. В. Осташев, Л. К. Крыштын, Н. И. Денисенко. — М.: Транспорт, 1979. — 192 с.
3. *Бобыр В. А.* Борьба с потерями наливных грузов от испарения при морской перевозке / В. А. Бобыр, А. Ф. Мошнянский, О. Б. Зайковский // Морской транспорт. Сер. «Технология морских перевозок». — М.: В/О «Мортехинформреклама» ММФ, 1984. — Вып. 6 (128).
4. *Плявин Н. И.* Эксплуатация морского танкера / Н. И. Плявин. — М.: Транспорт, 1968. — 531 с.
5. *Бобыр В. А.* Сокращение потерь наливных грузов от испарения в эксплуатационных условиях / В. А. Бобыр // Морской транспорт. Сер. «Предотвращение загрязнения моря». — М.: В/О «Мортехинформреклама» ММФ, 1985. — Вып. 5 (46).
6. *Константинов Н. Н.* Борьба с потерями от испарения нефти и нефтепродуктов / Н. Н. Константинов. — М.: Гостоптехиздат, 1961. — 260 с.
7. Борьба с потерями нефти и нефтепродуктов при их транспортировке и хранении / Ф. Ф. Абузова [и др.]. — М.: Недра, 1981. — 248 с.
8. *Бакулин П. И.* Курс общей астрономии / П. И. Бакулин, Э. В. Кононович, В. И. Мороз. — М.: Наука, 1976. — 536 с.
9. *Бобыр В. А.* Результаты натурных исследований процесса количественного учета наливного груза на танкере / В. А. Бобыр // Технология перевозок грузов морем: тр. ЦНИИМФ. — Л.: Транспорт, 1980. — Вып. 251.
10. Об утверждении норм естественной убыли нефти и нефтепродуктов при перевозке железнодорожным, автомобильным, водным видами транспорта и в смешанном железнодорожно-водном сообщении: приказ Минэнерго РФ № 527, Минтранса РФ № 236 от 1 ноября 2010 г. — 6 с.