

На правах рукописи

КОРШАК СЕРГЕЙ АЛЕКСЕЕВИЧ

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПОТЕРЬ БЕНЗИНОВ
ОТ ИСПАРЕНИЯ ИЗ РЕЗЕРВУАРОВ ТИПОВ РВС И РВСП**

Специальность 25.00.19 – «Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов,
баз и хранилищ»

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Уфа - 2003

Актуальность темы. В ходе доставки бензинов потребителю имеют место операции заполнения и опорожнения резервуаров товарных парков нефтеперерабатывающих заводов, перекачивающих станций магистральных нефтепродуктопроводов и нефтебаз, а также неподвижного хранения нефтепродуктов, в результате чего допускаются значительные потери их от испарения. Тем самым наносится материальный ущерб предприятиям и происходит значительное загрязнение атмосферного воздуха, особенно в теплое время года. Поэтому резервуары для хранения бензинов оборудуются средствами сокращения потерь.

По статистике наибольшее распространение в качестве средства сокращения потерь бензинов в резервуарах получили понтоны.

Между тем опыт показывает, что эффективность применения понтонов колеблется в очень широких пределах - от 53,5 до 93 %. Поэтому к выбору средства сокращения потерь следует подходить более тщательно, индивидуально для каждого резервуара. Для того, чтобы определить эффективность применения того или иного средства сокращения потерь, необходимо произвести сравнение количества испарившегося бензина из атмосферного резервуара с аналогичной величиной в резервуарах, оснащенных средствами сокращения.

Использование существующих методик определения потерь бензинов от испарения не позволяет реализовать данную задачу в полном объеме, с требуемой точностью в связи с большим количеством допущений, а порой и неточностей, сделанных авторами в ходе проведения экспериментов, обработки полученных данных, а также при создании математических моделей и самих методик. Кроме того, в ходе экспериментов нередко использовались приборы с ограниченными возможностями измерения параметров и большей погрешностью, чем у ныне существующих.

Методы расчета потерь бензинов из резервуаров с понтонами также не совершенны.

Поэтому для определения реально достигаемого сокращения потерь бензинов из резервуаров при применении понтонов необходимо уметь достоверно оценивать потери бензина из резервуаров, имеющих и не имеющих данные средства сокращения потерь.

Целью диссертационной работы является повышение точности расчета потерь бензинов от испарения в резервуарах как с понтонами, так и без них.

Основные задачи исследований

- 1 Обоснование выбора критериев подобия для описания массоотдачи от поверхности бензина в резервуарах типа РВС.
- 2 Получение новых критериальных уравнений массоотдачи при операциях с бензинами.
- 3 Разработка методов расчета потерь бензина от испарения из резервуаров типа РВС с использованием полученных критериальных уравнений.
- 4 Описание динамики массоотдачи в резервуарах с понтонами, а также разработка методики прогнозирования сокращения потерь бензина при их применении.

Методы решения поставленных задач

При решении поставленных задач использованы современные аналитические и экспериментальные методы. Эксперименты проведены на модельной установке и промышленных объектах. Обработка результатов экспериментов произведена с применением вычислительной техники и методов математической статистики.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- 1 Обоснованы новые критерии подобия для описания процесса массоотдачи в резервуарах при неподвижном хранении бензина, а также при его закачке и откачке.
- 2 Получены критериальные уравнения массоотдачи, которые в отличие от ранее существовавших справедливы во всем диапазоне изменения модуля движущей силы испарения Δp , а также удовлетворяют правилу предельного перехода.
- 3 Уточнены методы расчета потерь бензина от испарения с использованием полученных критериальных уравнений.
- 4 Установлена аналитическая связь между массоотдачей от поверхности бензина в резервуарах с понтонами и долей поверхности нефтепродукта, не закрытой затвором.
- 5 Выполнена количественная оценка влияния коэффициента оборачиваемости, доли открытой поверхности, номинальной вместимости и режима работы резервуаров на эффективность применения понтонов.
- 6 Изучено влияние типоразмера резервуаров и коэффициента их оборачиваемости на оптимальное сокращение потерь бензина, которое должны обеспечивать затворы понтонов.

На защиту выносятся результаты экспериментальных исследований динамики испарения бензинов в резервуарах типа РВС, новые критериальные

уравнения, метод расчета совокупных потерь бензина от испарения из РВС, методики обработки экспериментальных данных для определения плотности потока массы в резервуарах с частично открытой поверхностью и определения оптимальной эффективности применения понтонов и выбору затворов к ним.

Практическая ценность выполненных исследований заключается в создании уточненных методов расчета потерь бензина из резервуаров типов РВС и РВСП, а также оценки эффективности применения понтонов. Это позволяет не только более достоверно определять фактические потери бензинов в системе магистральных нефтепродуктопроводов и нефтебаз, но также правильно оценивать эффективность применения понтонов для сокращения этих потерь.

Реализация работы

По результатам исследований разработаны методы расчета потерь бензинов от испарения из резервуаров типов РВС и РВСП, которые используются в ООО «Подольскнефтепродукт», ООО «Пензанефтепродукт» и ОАО «Башкирнефтепродукт», а также в учебном процессе УГНТУ при подготовке студентов по специализации 09.07.01 «Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ» при дипломном и курсовом проектировании по дисциплинам «Проектирование и эксплуатация нефтехранилищ и АЗС», а также «Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов».

За разработку методов прогнозирования эффективности применения понтонов автор награжден медалью Министерства образования Российской Федерации «За лучшую научную студенческую работу» по итогам открытого конкурса на лучшую научную работу студентов по техническим наукам в вузах РФ (2001 г.).

Апробация работы

Основные материалы диссертации докладывались:

- на 48-й, 49-й, 50-й, 51-й научно-технических конференциях студентов, аспирантов и молодых ученых (г. Уфа, УГНТУ, 1999, 2000, 2001, 2002 гг.);
- Всероссийском открытом конкурсе студентов по естественным, техническим и гуманитарным наукам в вузах Российской Федерации (2000 г.);
- Всероссийской научно-технической конференции «Новоселовские чтения» (г. Уфа, 1998, 1999 г.);
- 4-й Всероссийской научно-практической конференции «Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности» (г. Санкт-Петербург, 1999 г.);

- 2-м Международном симпозиуме «Наука и технология углеводородных дисперсных систем» (г. Уфа, 2000 г.);
- 6-й Международной конференции «Нефть и газ Украины» (г. Ивано-Франковск, 2000 г.).

Публикации

По материалам диссертации опубликовано 13 научных работ, в том числе 7 статей и 5 тезисов докладов.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов и рекомендаций, изложена на 169 страницах, содержит 16 рисунков, 28 таблиц. Список использованной литературы включает 130 наименований.

Основное содержание работы

Во введении сформулированы актуальность темы диссертационной работы, цель и основные задачи исследований, основные положения, выносимые на защиту, характеристика научной новизны, практической ценности и сведения об апробации научных результатов.

Первая глава посвящена анализу современного состояния методов оценки потерь бензинов от испарения из резервуаров типов РВС и РВСП, а также проанализированы данные об эффективности применения понтонов.

Методы определения потерь бензинов от больших и малых «дыханий» из резервуаров типа РВС и РВСП можно разделить на три группы: 1) использование номограмм и таблиц; 2) применение упрощенных эмпирических формул; 3) использование теоретических формул и расчетных методик.

Достоинством использования таблиц, номограмм и упрощенных эмпирических формул является быстрота и легкость определения искомых потерь. Однако количество параметров, учитываемых при нахождении потерь бензина как от малых, так и от больших «дыханий», по ним ограничено. Это делает определение потерь с помощью указанных средств весьма приближенным.

В получение теоретических формул и разработку расчетных методик для определения потерь бензинов от испарения большой вклад внесли Ф.Ф. Абузова, Т.С. Алексеев, И.С. Бронштейн, И.П. Бударов, В.А. Бунчук, П.В. Валявский, В.Б. Галеев, В.А. Душин, К.В. Елшин, Н.Н. Константинов, Р.Ш. Латыпов, Р.А. Молчанова, Д.М. Саттарова, Г.Д. Теляшева, Н.М. Фатхиев, Ю.А. Цимблер, Л.Р. Хакимьянова, Ф.М. Хафизов, И.А. Чарный, В.И. Черников, А.Д. Прохоров, Н.И. Белоконь, В.А. Мартяшова, а также зарубежные ученые

Д. Барус, Дж. Виггинс, Дж. Дарик, В. Нельсон, Н. Петру, Н. Пратер, Р. Хантингтон и другие.

Впервые формулу для расчета потерь от больших и малых «дыханий» получил П.В. Валявский. Позже В.И. Черников представил эту формулу в более удобном виде.

Основным вопросом при нахождении величины потерь бензинов от испарения из резервуаров является определение средней концентрации углеводородов в паровоздушной смеси (ПВС). Для этого Н.Н. Константинов предложил использовать коэффициент испарения, величина которого принимается постоянной для каждой технологической операции. Однако при этом не учитывается влияние многих технологических параметров (расход закачки, взлив бензина в резервуаре, температура нефтепродукта и др.) на динамику процесса испарения.

В работах Ф.Ф. Абузовой и ее учеников при решении указанной задачи предложено пользоваться коэффициентом массоотдачи, для определения которого ими получены соответствующие критериальные зависимости. Однако эти зависимости не свободны от недостатков.

Во-первых, имеющиеся уравнения не охватывают всего практически возможного изменения параметров, влияющих на процессы испарения. Так, при расходах закачки-откачки близких к нулю расчетный коэффициент массоотдачи также стремится к нулю, что не соответствует реальности. Невозможно рассчитать массоотдачу при хранении бензина, когда температура газового пространства равна температуре воздуха.

Во-вторых, правомерность использования в качестве характерных линейных размеров диаметра и высоты газового пространства (ГП) емкостей является спорной. Выполненные нами оценки показали, что в этом случае критериальные уравнения, полученные в промышленных условиях, нельзя переносить на лабораторные модели и наоборот.

Это заключение подтвердил выполненный нами анализ критериального уравнения В.А. Мартяшовой для расчета массоотдачи от поверхности продукта при заполнении модельной емкости горячим бензином: согласно ему при заполнении резервуара типа РВС нагретым бензином коэффициент массоотдачи меньше, чем при неподвижном хранении холодного бензина, что не соответствует реальности.

В-третьих, ряд критериальных уравнений получен в результате проведения экспериментов с бензинами, которые давно уже не производятся.

Наконец, часть формул получена при совместной обработке данных по испарению бензинов и нефтей, что, на наш взгляд, методически неверно.

Для нахождения потерь бензинов из резервуаров с понтоном принято использовать формулу, предложенную Н.Н. Константиновым. Потери по ней определяются через коэффициент герметичности затвора - эмпирическую величину, принимаемую для заданного типа затвора постоянной. На самом деле она зависит также от степени геометрического несовершенства формы резервуара и качества монтажа затвора. Однако никаких рекомендаций по учету влияния этих факторов в литературе не дается.

Сами имеющиеся оценки эффективности применения понтонов для сокращения потерь бензинов от испарения достаточно сильно различаются (от 53,5 до 92 %), что позволяет сделать однозначный вывод: сокращение потерь бензинов от испарения с помощью понтонов не является раз и навсегда заданной величиной, а зависит от множества факторов. Поэтому в каждом конкретном случае величину эффективности применения понтонов надо рассчитывать, для чего требуется разработка соответствующей методики.

Вторая глава посвящена созданию методических основ описания массоотдачи от поверхности бензина в резервуарах. Дано обоснование выбора вида уравнения для описания массовой скорости испарения бензина в резервуарах, получены новые критерии подобия, более полно учитывающие физику процессов, происходящих в емкостях, а также разработана методика определения плотности потока массы испаряющегося бензина по экспериментальным данным, учитывающая изменение давления (при простоях) и температуры в газовом пространстве, а также отличие расходов бензина и газовой фазы.

Показано, что для описания массоотдачи в резервуарах наиболее целесообразно использовать формулу вида $\frac{\partial m_y}{\partial \tau} = J \cdot F_p$, а модуля движущей силы

процесса испарения - $\Delta\pi = \frac{C_s - C}{1 - C_s}$, где J – плотность потока массы испаряюще-

гося бензина; F_p – площадь поверхности испарения; C_s , C – соответственно концентрация насыщенных паров и средняя концентрация паров бензина в ГП резервуара.

Величина J в отличие от коэффициента массоотдачи β является плавно меняющейся функцией, что облегчает ее описание с помощью эмпирических формул. В то время как при $C \rightarrow C_s$ даже незначительные ошибки в экспериментальном определении величин массовой скорости испарения углеводородной жидкости, C и C_s могут привести к значительным погрешностям в расчете

β . Соответственно и будущая формула для расчетного определения β в области $C \rightarrow C_s$ будет неточной.

С использованием метода анализа размерностей критериальное уравнение для описания процессов массоотдачи в резервуарах в общем виде представлено нами как

$$Kt = f_1(\Delta\pi, Sc, Fr \cdot Re, Re_{cp}), \quad (1)$$

где Kt – безразмерный комплекс (критерий), характеризующий динамику испарения; $Fr \cdot Re$ – комплексный критерий, характеризующий интенсивность перемешивания нефтепродукта в заполняемом резервуаре,

$$Fr \cdot Re = \frac{\omega_{ж}^3}{g \cdot \nu_{ж}}; \quad (2)$$

Re_{cp} – число Рейнольдса, характеризующее интенсивность омывания поверхности жидкости струей подсосываемого воздуха при опорожнении резервуара,

$$Re_{cp} = 0,788 \cdot \frac{U \cdot d_э}{\nu_{пвс}} \cdot \sqrt{k}; \quad (3)$$

Sc – число Шмидта:

$$Sc = \nu_{пвс} / D_m; \quad (4)$$

$\omega_{ж}$ – характерная скорость перемешивания; $\nu_{ж}$ – кинематическая вязкость бензина; U – скорость вертикальной струи при достижении поверхности нефтепродукта; $d_э$ – диаметр круга, эквивалентного площади, омываемой струей подсосываемого воздуха в резервуаре (по Ф.Ф.Абузовой); k – количество монтажных патрубков; $\nu_{пвс}$ – кинематическая вязкость ПВС; D_m – коэффициент диффузии (по В.А. Мартяшовой).

Новый критерий подобия, характеризующий динамику испарения нефтепродукта, описывается выражением

$$Kt = \frac{J}{\rho_{пвс} \cdot D_m} \cdot \sqrt[3]{\frac{\nu_{пвс}^2 \cdot M_{пвс} \cdot T_{в}}{g \cdot M_y \cdot T_{ж}}}; \quad (5)$$

где $\rho_{пвс}$, $M_{пвс}$ – соответственно плотность и молярная масса паровоздушной смеси; g – ускорение свободного падения; M_y – молярная масса паров бензина; $T_{в}$, $T_{ж}$ – температуры соответственно окружающего воздуха и бензина.

Для определения плотности потока массы испаряющегося бензина по экспериментальным данным была разработана новая методика. Она базируется на уравнении состояния ПВС в ГП резервуара в дифференциальной форме. В результате ряда преобразований получены зависимости для определения величины J в следующих случаях:

а) простой резервуара с закрытой дыхательной арматурой

$$J_{\text{пр}} = \frac{G_{\text{пвс}} \cdot \left[\frac{1}{P_r} \cdot \frac{\partial P_r}{\partial \tau} - \frac{1}{T_r} \cdot \frac{\partial T_r}{\partial \tau} \right]}{F_p \cdot \left[1 - \frac{C}{C} \cdot (1 - \bar{M}) \cdot (1 - \bar{C}) \right]}; \quad (6)$$

б) заполнение резервуара (открыт клапан давления)

$$J_3 = \frac{\rho_{\text{пвс}} \cdot \{ Q_{\text{пвс}} \cdot [1 + C \cdot (1 - \bar{M})] - Q_3 \} - \frac{G_{\text{пвс}}}{T_r} \cdot \frac{\partial T_r}{\partial \tau}}{F_p \cdot \left[1 + \frac{C}{C} \cdot (1 - \bar{M}) \cdot (1 - \bar{C}) \right]}; \quad (7)$$

в) опорожнение резервуара (открыт клапан вакуума)

$$J_{\text{от}} = \frac{\rho_{\text{пвс}} \cdot Q_{\text{от}} - \rho_v \cdot Q_v \cdot [1 + C \cdot (1 - \bar{M})] - \frac{G_{\text{пвс}}}{T_r} \cdot \frac{\partial T_r}{\partial \tau}}{F_p \cdot \left[1 + \frac{C}{C} \cdot (1 - \bar{M}) \cdot (1 - \bar{C}) \right]}, \quad (8)$$

где Q_3 , $Q_{\text{от}}$ – расходы соответственно закачки и откачки бензина; $Q_{\text{пвс}}$ – расход вытесняемой в атмосферу ПВС; ρ_v , Q_v – соответственно плотность и расход подсасываемого воздуха; \bar{M} – относительная (по воздуху) молярная масса паров бензина; P_r , T_r – давление и температура в ГП резервуара в рассматриваемый момент времени; $G_{\text{пвс}}$ – масса ПВС в ГП в момент времени τ .

Из формулы (6) видно, что если известна концентрация паров бензина в ГП в начальный момент времени, то для определения величины $J_{\text{пр}}$ достаточно контролировать изменение во времени давления и температуры в ГП емкости. Для нахождения J_3 согласно формуле (7) надо знать расходы закачиваемого бензина и паровоздушной смеси, вытесняемой из резервуара. Соответственно при определении $J_{\text{от}}$ надо знать расходы откачки бензина и подсасываемого воздуха.

Сравнивая предложенную методику обработки экспериментальных данных с применявшейся исследователями ранее, можно сделать вывод, что она является более точной, так как:

- 1) в случае неподвижного хранения определение средней концентрации углеводородов в ГП емкости не зависит от количества точек отбора проб ПВС;
- 2) впервые при определении средней концентрации углеводородов в ГП учитывается изменение температуры ГП и различие расходов бензина, с одной стороны, и газовой фазы через дыхательную арматуру, с другой.

В третьей главе описаны экспериментальные исследования по изучению процессов массоотдачи при операциях неподвижного хранения бензинов, заполнения и опорожнения резервуаров типа РВС. Представлены результаты экспериментов, а также получены критериальные уравнения массоотдачи для перечисленных выше типов операций.

Экспериментальное изучение процессов массоотдачи на реальных резервуарах заведомо осуществляется с определенной погрешностью ввиду влияния ряда факторов (дискретности отбора проб, неравномерности прогрева газового пространства и т.д.). Поэтому наряду с промышленными экспериментами мы провели серию опытов для случая неподвижного хранения на модельной установке, основными элементами которой были: емкость для бензина вместимостью $38 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$, стальная 200 – литровая бочка с резьбовой пробкой и удаленным дном, а также открытая емкость, которая использовалась для создания гидрозатвора. Роль “запирающей” жидкости выполняла подсоленная вода. В обечайке бочки имелся штуцер для подключения дифманометра.

Опыты проводили в следующей последовательности. В емкость с подсоленной водой помещали емкость с исследуемым бензином (Аи-80, А-92, Аи-95 и Аи-98), замеряли его уровень и температуру. Далее вся система быстро накрывалась бочкой. Это позволяет утверждать, что начальная концентрация паров бензина в ГП бочки была равна нулю. По дифманометру фиксировался рост давления в ГП бочки во времени.

Для более полного охвата условий испарения промышленные эксперименты по определению фактических потерь бензинов из промышленных резервуаров для случаев заполнения, простоя и опорожнения проводились в различных регионах РФ: на Каменской нефтебазе (г. Каменка Пензенской области) 24 апреля 2001 г. на резервуаре объемом 1000 м^3 , на Чайковской нефтебазе (г. Чайковский Пермской области) с 1 по 2 сентября 2001 г. на резервуаре объемом 700 м^3 , на Уфимской нефтебазе (Участок №2) ОАО “Башкирнефтепродукт” с 26 июня по 1 июля 2002 г. на резервуаре объемом 1000 м^3 и в ЛПДС “Черкассy” ОАО “Уралтранснефтепродукт” с 12 по 13 июня 2002 г. на резервуаре объемом 5000 м^3 .

К сожалению, использовать известные методы планирования экспериментов не представлялось возможным.

В ходе экспериментов за заданные промежутки времени измерялись: концентрация углеводородов в различных точках по высоте ГП резервуара – газоанализатором ИГМ-034 с погрешностью измерения не более $\pm 0,5 \%$; температура подсасываемого атмосферного воздуха (опорожнение) – ртутным

термометром; скорости подсасываемого атмосферного воздуха (опорожнение) и вытесняемой ПВС (заполнение) через специальные патрубки – анемометром. Остальные данные получены от диспетчеров объектов, на которых проводились эксперименты.

Наряду с данными собственных экспериментов к обработке привлекались результаты экспериментальных исследований Ф.Ф. Абузовой – Р.А. Молчановой, В.Б. Галеева. Таким образом, к обработке нами были привлечены данные по испарению бензинов А-66, А-76, Аи-80, А-92, Аи-95 и Аи-98 за период с мая по октябрь в резервуарах РВС 700, РВС 1000, РВС 5000 и модельной емкости на нефтебазах и перекачивающих станциях магистральных нефтепродуктопроводов, расположенных в средней полосе России.

Характер зависимости величины $Kt_{пр}$ от $\Delta\pi$ показан на рисунке 1.

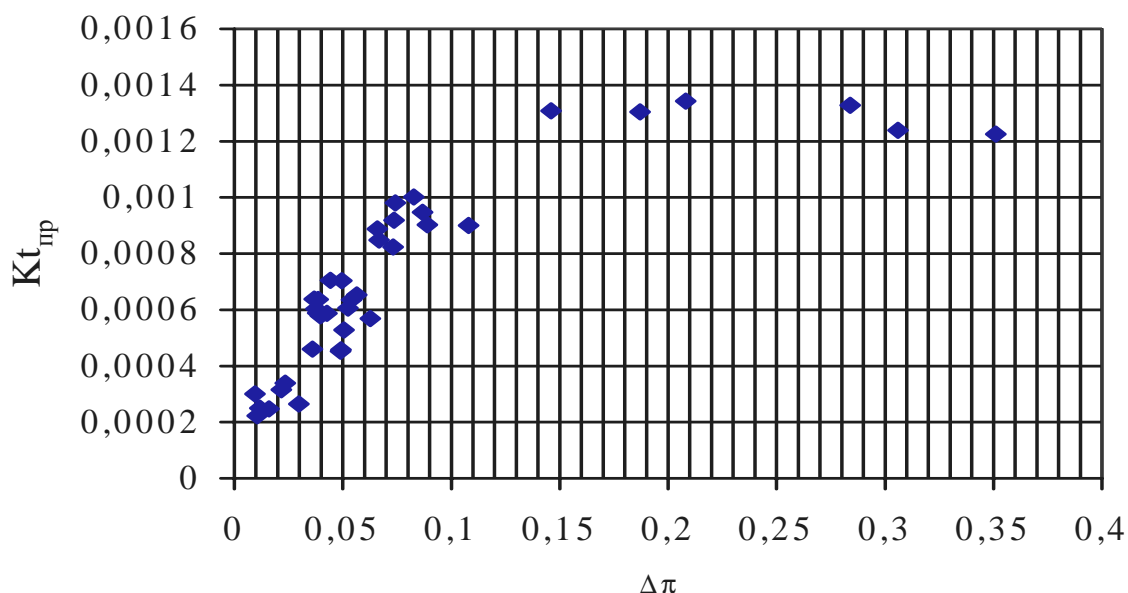


Рисунок 1 - Зависимость Kt – критерия при простое от модуля движущей силы $\Delta\pi$ после отбраковки «выскакивающих» точек

Для установления конкретного вида функции (1) экспериментальные данные сначала обработали с использованием методов математической статистики с целью отбраковки «подозрительных» значений. Далее с использованием математического программного пакета на ЭВМ было получено критериальное уравнение массоотдачи для случая неподвижного хранения бензина вида

$$Kt_{пр} = 2,17 \cdot 10^{-3} \cdot \Delta\pi^{0,403} \cdot Sc^{0,0932}. \quad (9)$$

Среднеквадратичная погрешность расчета по формуле (9) составляет 26,5%. Она справедлива для резервуаров типа РВС различной вместимости, в диапазоне изменения $\Delta\pi$ от 0 до 0,351 и числа Шмидта от 0,469 до 1,941.

Определение вида и численных значений коэффициентов критериального уравнения массоотдачи для случая заполнения резервуара также производилось с использованием математического программного пакета на ЭВМ. В результате уравнение приняло вид

$$\frac{Kt_3}{Kt_{пр}} = 1 + 0,524 \cdot (Fr \cdot Re)^{0,265} \cdot \Delta\pi^{-0,289} \cdot Sc^{0,422} \quad (10)$$

Формула (10) справедлива в диапазоне изменения $Fr \cdot Re$ от 623 до 17351, $\Delta\pi$ от 0 до 0,0953 и числа Шмидта от 0,547 до 0,769. Среднеквадратичная погрешность расчета по ней составляет 6,5%.

Аналогично после обработки экспериментальных данных, используя трехфакторную модель, получили критериальное уравнение для случая опорожнения резервуаров

$$\frac{Kt_{от}}{Kt_{пр}} = 1 + 7,45 \cdot 10^{-3} \cdot Sc^{0,197} \cdot Re_{ср}^{0,569} \quad (11)$$

Формула (11) справедлива для резервуаров типа РВС различной вместимости, в диапазоне изменения $\Delta\pi$ от 0 до 0,188, числа Шмидта от 0,635 до 1,359 и числа $Re_{ср}$ от 9668 до 55817. Среднеквадратичная погрешность расчета по ней составляет 17,4%.

В целом погрешность расчета динамики массоотдачи по формулам (9)-(11) меньше, чем по формулам других авторов. Отличительной особенностью критериальных уравнений (10), (11) по сравнению с ранее существовавшими является то, что при расходах закачки-откачки близких к нулю $Kt_3 \rightarrow Kt_{пр}$ и $Kt_{от} \rightarrow Kt_{пр}$, то есть они удовлетворяют правилу предельного перехода.

В четвертой главе предложен метод расчета суммарных потерь (сразу от больших и малых «дыханий») бензинов от испарения из резервуаров типа РВС с использованием критериальных уравнений (9)-(11). Проведено исследование влияния момента закачки бензина на величину его совокупных (за сутки) потерь по данной методике. Также предложена упрощенная (инженерная) методика вычислений потерь бензинов от испарения и проведено сравнение результатов расчета по ней с результатами расчета по ранее используемым.

В основе предложенного метода расчета совокупных потерь бензинов от испарения лежит уравнение состояния реальных газов (Менделеева-Клапейрона) в дифференциальной форме.

При **закрытом дыхательном клапане** это уравнение решается относительно скорости изменения давления в ГП, что дает

$$\frac{\partial P_r}{\partial \tau} = P_r \cdot \left(\frac{1}{G_{пвс}} \cdot \frac{\partial G_{пвс}}{\partial \tau} + \frac{1}{T_r} \cdot \frac{\partial T_r}{\partial \tau} + \frac{1}{R_{пвс}} \cdot \frac{\partial R_{пвс}}{\partial \tau} - \frac{1}{V_r} \cdot \frac{\partial V_r}{\partial \tau} \right). \quad (12)$$

В уравнении (12) величины скоростей изменения параметров находятся по формулам

$$\begin{aligned} \frac{\partial G_{пвс}}{\partial \tau} &= \frac{\partial m_y}{\partial \tau}; \\ \frac{\partial R_{пвс}}{\partial \tau} &= -R_{пвс} \cdot \frac{M_y - M_b}{M_{пвс}} \cdot \frac{\partial C}{\partial \tau}; \\ \frac{\partial V_r}{\partial \tau} &= \begin{cases} 0 - \text{при простое} \\ -Q_3 - \text{при закачке;} \\ Q_{от} - \text{при откачке} \end{cases} \\ \frac{\partial C}{\partial \tau} &= \frac{1}{\rho_y \cdot V_r} \cdot \frac{\partial m_y}{\partial \tau}, \end{aligned} \quad (13)$$

где $\frac{\partial m_y}{\partial \tau}$ - скорость прироста массы испаряющегося бензина в газовом пространстве при соответствующей операции; M_b - молярная масса воздуха; ρ_y - плотность паров бензина.

При **открытом клапане давления** уравнение состояния решается относительно объемного расхода ПВС, вытесняемой в атмосферу:

$$Q_{пвс} = \frac{1}{\rho_{пвс}} \cdot \left[\frac{\partial m_y}{\partial \tau} - G_{пвс} \cdot \left(\frac{1}{V_r} \cdot \frac{\partial V_r}{\partial \tau} - \frac{1}{R_{пвс}} \cdot \frac{\partial R_{пвс}}{\partial \tau} - \frac{1}{T_r} \cdot \frac{\partial T_r}{\partial \tau} \right) \right]. \quad (14)$$

Общие же потери бензина за время τ_b , в течение которого был открыт клапан давления, найдутся как

$$G_{пвс} = \int_0^{\tau_b} \rho_y \cdot C \cdot Q_{пвс} \cdot d\tau, \quad (15)$$

где интеграл вычисляется суммированием подынтегральных выражений в разные моменты времени.

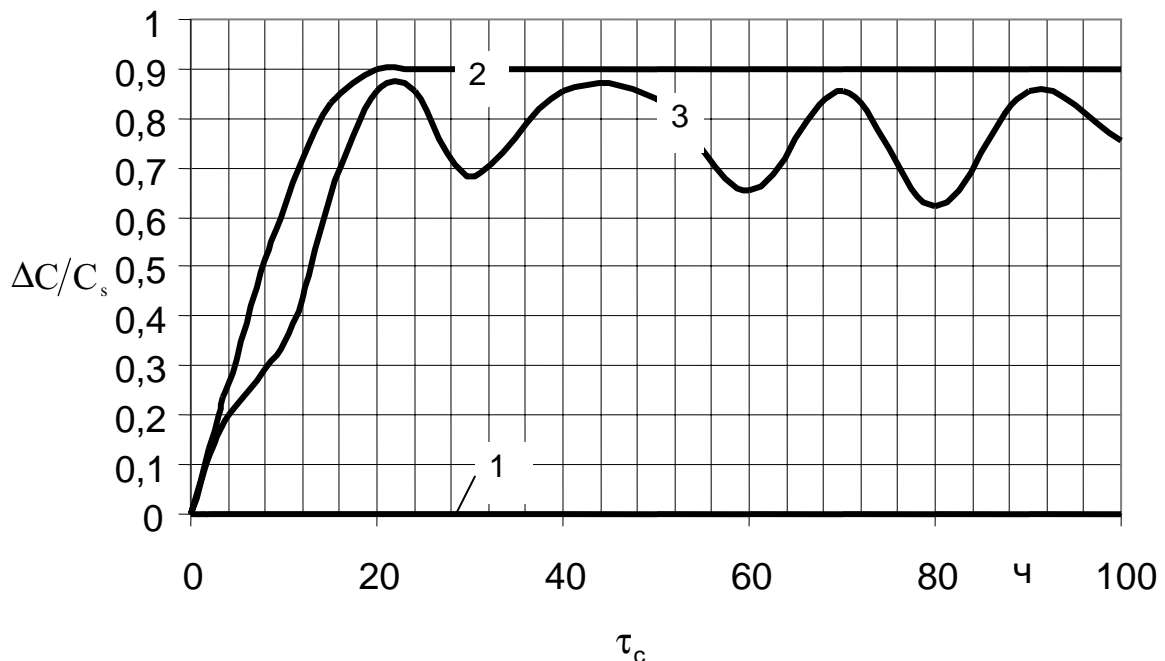
При **опорожнении резервуаров** или достаточном снижении температуры в их газовом пространстве открывается клапан вакуума и в них подсасывается воздух, что приводит к изменению концентрации углеводородов в ГП и, таким образом, предопределяет последующие потери. В этом случае уравне-

ние состояния решается относительно объемного расхода подсасываемого воздуха

$$Q_B = \frac{1}{\rho_B} \cdot \left[G_{\text{пвс}} \cdot \left(\frac{1}{V_r} \cdot \frac{\partial V_r}{\partial \tau} - \frac{1}{R_{\text{пвс}}} \cdot \frac{\partial R_{\text{пвс}}}{\partial \tau} - \frac{1}{T_r} \cdot \frac{\partial T_r}{\partial \tau} \right) - \frac{\partial m_y}{\partial \tau} \right]. \quad (16)$$

Предложенная выше система уравнений замыкается критериальными уравнениями (9)-(11). Несмотря на кажущуюся сложность, она легко реализуется на ЭВМ и применима к резервуару любой конфигурации.

В качестве апробации разработанной методики была рассчитана динамика прироста относительной концентрации в ГП резервуара $\Delta C/C_s$ при неподвижном хранении бензина. Сначала были сделаны расчеты для двух предельных случаев ($T_r = \text{const}$), когда относительная начальная концентрация в ГП $C_0/C_s = 1$ и $C_0/C_s = 0,1$ (рисунок 2).



1 - $T_r = \text{const}, C_0/C_s = 1$; 2 - $T_r = T_{\text{max}}, C_0/C_s = 0,1$; 3 - $T_r = \text{var}, C_0/C_s = 0,1$

Рисунок 2 - Расчетные значения прироста относительной концентрации $\Delta C/C_s$ во времени

Как и должно быть, при неизменной температуре и $C_0/C_s = 1$ прирост концентрации в ГП полностью отсутствует. Поэтому функция $\Delta C/C_s$ представляет собой горизонтальную прямую, совпадающую с осью абсцисс. Во втором предельном случае ($T_r = T_{r \text{ max}} = \text{const}, C_0/C_s = 0,1$) при неподвижном хранении бензина концентрация его паров в ГП постепенно растет, достигает полного насыщения и далее не меняется. Поскольку на графике изображено изменение прироста относительной концентрации, то асимптотой для него яв-

ляется величина $1 - C_0/C_s$. Обе линии проходят так, как и должно быть из физических соображений. Поэтому можно сделать вывод, что разработанная программа адекватно описывает изменение величины $\Delta C/C_s$. Это позволяет не сомневаться в результатах, полученных при переменной температуре ГП.

Как видно из рисунка 2, изменение температуры накладывает свой отпечаток на поведение функции $\Delta C/C_s$: она сначала увеличивается, достигает максимума равного $1 - C_0/C_s$, а затем колеблется относительно некоторого среднего значения. Такое ее изменение объясняется изменением температуры в ГП резервуара в течение суток. Соответственно концентрация насыщенных паров бензина также изменяется по периодическому закону. Если в момент времени $\tau = 0$ начальная концентрация C_0 была меньше, чем концентрация насыщенных паров C_s при данной температуре, то с течением времени средняя концентрация паров в ГП сначала монотонно растет. Однако как только она достигает концентрации насыщенных паров, характер изменения величины C изменяется: она полностью повторяет характер изменения C_s . Показанный на рисунке 2 характер изменения величины $\Delta C/C_s$ сохраняется для резервуаров разной вместимости и разных месяцев года.

Аналогичный характер изменения концентрации паров бензина в ГП был экспериментально установлен для резервуаров с понтоном В.А. Душиным.

Вторая задача, которую автор решал с использованием разработанного метода, это оценка погрешности, вносимой при искусственном разделении потерь бензина на большие и малые «дыхания».

Проведенное моделирование по данной методике показало, что достоверная оценка потерь бензина от «большого дыхания» может быть выполнена только в случае, когда не только задана продолжительность каждой операции, но также когда начало их привязано ко времени суток. Так, было установлено, что наименьшими потери будут, если начало закачки совпадает с моментом минимума температуры газового пространства. Менее предпочтителен вариант, когда начало закачки совпадает с моментом максимума температуры ГП. Наибольшие совокупные потери бензина от «дыханий» резервуара наблюдаются, когда закачка заканчивается в момент максимума температуры газового пространства.

Кроме того, в 4 главе диссертации разработана упрощенная (инженерная) методика прогнозирования потерь бензина от испарения из резервуаров типа РВС, свободная от недостатков методик, существовавших ранее.

В заключение был выполнен сравнительный анализ погрешности расчета потерь бензина от «больших дыханий» по инженерной методике автора, а также методикам Ф.Ф. Абузовой, Н.Н. Константинова и В.Б. Галеева с экспериментальными данными, полученными при заполнении резервуара РВС 1000 при разной периодичности замеров через (0,25; 0,5 и 1 ч). При увеличении интервала времени между замерами средней концентрации углеводородов в ГП среднеквадратичная погрешность методик Ф.Ф. Абузовой, Н.Н. Константинова и В.Б. Галеева увеличивается, достигая 31,8...33,2 %, тогда как среднеквадратичная погрешность расчета по методике автора снижается до 12,7 %.

В пятой главе получено критериальное уравнение массоотдачи от поверхности бензина в резервуарах с понтонами, изучено влияние различных факторов на эффективность применения понтонов при известной доле открытой поверхности бензина, а также предложена методика выбора оптимального типа затвора по критерию минимума затрат на сооружение понтонов и ущерба от испарения.

Экспериментальное определение эффективности применения понтонов представляет собой весьма сложную задачу, т.к. для этого необходимо провести большое количество опытов, которые очень трудоемки. Но при этом еще и практически невозможно обеспечить абсолютно одинаковый режим работы двух резервуаров: одного с понтоном, другого - без него. Исходя из этих условий, нами был разработан метод моделирования эффективности S_{Π} применения понтонов на ЭВМ, основанный на сопоставлении средних концентраций углеводородов в ГП резервуара с понтоном C_{cp} и без него C_{cp0} :

$$S_{\Pi} = \left[1 - \frac{C_{cp}}{C_{cp0}} \right] \cdot 100\% . \quad (17)$$

Расчет средней концентрации паров бензина в ГП резервуаров без понтона выполняется с использованием формул (9)-(11). При расчете C_{cp} массу бензина, испарившегося в резервуаре с понтоном, предложено вычислять по формуле

$$G_{\Pi} = J_{\Pi} \cdot \gamma \cdot F_p \cdot \Delta t , \quad (18)$$

где J_{Π} - плотность потока массы от поверхности бензина в резервуаре с понтоном; γ - доля открытой поверхности бензина в резервуаре (отношение площади зазоров между затвором и стенкой резервуара к площади “зеркала бензина” в резервуаре - F_p).

Для определения J_{Π} использовались данные И.С. Бронштейна, Н.Н. Хазиева и Л.И. Савельевой по изучению процесса испарения бензина при раз-

личной величине негерметичности затвора плавающего покрытия в модельном резервуаре, а также при различном времени хранения бензина.

Автором показано, что величина J_{Π} может быть выражена как

$$J_{\Pi} = \frac{m_{\text{возд.}}}{\gamma \cdot F_p \cdot (1 - \bar{C})^2} \cdot \frac{\partial \bar{C}}{\partial \tau}, \quad (19)$$

где $m_{\text{возд.}}$ – масса воздуха в ГП емкости в рассматриваемый момент времени; $\partial \bar{C} / \partial \tau$ – скорость изменения массовой концентрации углеводородов в газовом пространстве, определяемая для условий проведения экспериментов по эмпирической формуле

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial \tau} = \frac{5 \cdot c_s \cdot \gamma \cdot D_m \cdot \bar{M} \cdot e^{-1,18Fo}}{\{H_{\text{гп}} \cdot (3,77 + e^{-1,18Fo}) \cdot [1 + C \cdot (\bar{M} - 1)]\}^2}; \quad (20)$$

$H_{\text{гп}}$ – высота газового пространства в резервуаре; Fo – безразмерное время.

По аналогии с исследованиями, выполненными в главе 3, для описания процесса массоотдачи через зазор между понтоном и стенкой емкости нами предложено использовать Kt – критерий.

В результате обработки данных, полученных с применением формул (19), (20), установлен вид искомым критериальных уравнений:

$$Kt_{\Pi} = \begin{cases} 6,53 \cdot 10^{-6} \cdot \gamma^{-3,19} \cdot Sc^{8,36} & \text{при } C/C_s \leq 0,25 \\ 10^{-4} \cdot \exp(38,8 \cdot \gamma - 0,8 \cdot \Delta\pi + 4,5 \cdot Sc - 4,3) & \text{при } 0,25 < C/C_s \leq 0,85 \end{cases} \quad (21)$$

Формулы (21) впервые устанавливают количественную связь между массоотдачей и площадью зазоров между затвором понтона и стенкой резервуара. Среднеквадратичная погрешность расчета величины Kt_{Π} по ним в интервале $0 < C/C_s \leq 0,85$ составляет 24,6%, что практически совпадает с погрешностью считывания и аппроксимации экспериментальных точек с графика, приведенного в работе И.С. Бронштейна, Н.Н. Хазиева и Л.И. Савельевой.

Из предыдущих исследований других ученых известно, что на эффективность применения понтонов влияют следующие факторы: коэффициент оборачиваемости резервуаров; качество затвора понтона, характеризуемое коэффициентом его герметичности, уровень разлива бензина и номинальный объем резервуара. Влияние этих же факторов изучали и мы, используя в качестве характеристики качества прилегания затвора к стенке величину доли открытой поверхности бензина. Кроме того, дополнительно было изучено влияние на сокращение потерь бензина при применении понтонов таких факторов, как район размещения резервуара, температура начала кипения бензина и время года. Первый из факторов учитывает влияние интенсивности солнечной ра-

диации, второй – склонность бензина к испарению, третий – роль температурного фактора.

В результате проведенных исследований сделаны следующие выводы:

- наибольшая эффективность применения понтонов наблюдается при эксплуатации резервуаров большой вместимости с пониженными уровнями взлива бензина;

- температура хранения на эффективность применения понтонов существенно влияния не оказывает.

В значительной степени эффективность применения понтонов определяется качеством уплотнения зазора между затвором и стенкой резервуара. Чем качественнее уплотняющий затвор, тем меньше потери бензина от испарения. Но, с другой стороны, более герметичный затвор дороже. Таким образом, налицо технико-экономическая задача по выбору затвора, который был бы относительно недорог и хорошо сокращал потери от испарения.

Ранее данная задача была решена Ф.М. Хафизовым применительно к плавающим крышам. Полученная им формула для расчета оптимальной доли сокращения потерь от испарения справедлива только для резервуаров типа РВСПК, т.к. при ее получении не учитывалось, что над понтонами парциальное давление паров бензина отлично от нуля.

В основу выбора затвора для понтона нами положено условие минимума приведенных годовых затрат, складывающихся из стоимости теряемого нефтепродукта $\sigma_n \cdot G_n$ и приведенных затрат на сооружение и эксплуатацию затвора $K_n(\varepsilon_n + \xi)$, где σ_n - обобщенная цена нефтепродукта; G_n - годовые потери от испарения при наличии понтонов; K_n - сметная стоимость оснащения резервуара понтоном; ε_n - нормативный коэффициент эффективности капиталовложений; ξ - доля отчислений на амортизацию и текущий ремонт.

Выражая составляющие затрат, получили целевую функцию вида

$$\Pi = \sigma_n \cdot G_o(1 - S_n) + \left\{ K_o + \frac{\pi \cdot D_p}{a_3 + \frac{G_o \cdot b_3 \cdot (1 - S_n) - g_{cm} \cdot F_{ct} \cdot n}{\pi \cdot D_p \cdot \tau_p \cdot [P_s - P_o \cdot (1 - S_n)]}} \right\} \cdot (\varepsilon_n + \xi). \quad (22)$$

Её анализ показал, что данная функция имеет минимум при некоторой величине S_n , которую будем называть оптимальной. Взяв первую производную от Π по S_n и приравняв полученное выражение нулю, после несложных преобразований получили формулу для определения оптимального сокращения потерь бензина, которое должен обеспечивать затвор понтона:

$$S_n^{\text{опт}} = 1 - \frac{1}{Z_2} \cdot \left[\sqrt{\frac{Z_0 \cdot (P_0 \cdot Z_1 + P_s \cdot Z_2)}{\sigma_n \cdot G_0}} - Z_1 \right], \quad (23)$$

где Z_0, Z_1, Z_2 - расчетные коэффициенты:

$$\begin{aligned} Z_0 &= \pi^2 \cdot D_p^2 \cdot \tau_p \cdot (\varepsilon_n + \xi); & Z_1 &= a_3 \cdot \pi \cdot D_p \cdot \tau_p \cdot P_s - g_{\text{см}} \cdot F_{\text{ср}} \cdot n; \\ Z_2 &= b_3 \cdot G_0 - a_3 \cdot \pi \cdot D_p \cdot \tau_p \cdot P_0. \end{aligned} \quad (24)$$

В целом же численный анализ формулы (23) показал следующее. Общей закономерностью является увеличение величины оптимального сокращения с помощью понтонов по мере повышения коэффициента оборачиваемости. Объясняется это тем, что с увеличением количества проходящего через резервуар бензина растут и его потери. Поэтому экономически выгоднее использовать более качественные (хотя и более дорогие) затворы. По той же причине увеличивается величина $S_n^{\text{опт}}$ при увеличении номинальной вместимости резервуаров и среднегодовой температуры бензина.

При низких коэффициентах оборачиваемости, небольшой номинальной вместимости резервуаров и среднегодовой температуре бензина затраты на сокращение потерь бензина себя не окупают. Данные результаты получены впервые.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1 Обоснован выбор новых критериев подобия для описания массоотдачи от поверхности бензина в резервуарах типа РВС. Показано, что динамику испарения целесообразно характеризовать с помощью Kt – критерия, позволяющего совместно обрабатывать данные лабораторных и промышленных экспериментов, интенсификацию процесса испарения при опорожнении резервуаров правильнее характеризовать средним числом Рейнольдса при обтекании поверхности бензина подсасываемым воздухом, а интенсификацию испарения бензинов при заполнении резервуаров – комплексным критерием подобия $Fr \cdot Re$, в котором впервые используется характерная скорость перемешивания, зависящая от уровня заполнения резервуара.

2 Получены новые критериальные уравнения массоотдачи при операциях с бензинами. От ранее известных они отличаются более высокой точностью: при хранении бензинов среднеквадратичная погрешность расчета Kt – критерия составляет 26,5 %, при заполнении резервуаров – 6,5 %, а при их опорожнении – 17,4 %. Кроме того, отличительной особенностью полученных критериальных уравнений является возможность их использования в более широ-

ком диапазоне изменения модуля движущей силы, а также расходов закачки и откачки бензина.

3 Разработана методика моделирования процессов в газовом пространстве резервуаров, по которой, в частности, могут быть вычислены совокупные потери бензина за заданный промежуток времени без их искусственного разделения на большие и малые “дыхания”. Для оценочных расчетов предложена инженерная методика расчета потерь бензинов, учитывающая динамику их испарения в ходе технологических операций. Среднеквадратичная погрешность расчета потерь по ней при заполнении резервуара РВС 1000 меньше, чем по ранее использовавшимся методикам.

4 Впервые получены критериальные уравнения массоотдачи от поверхности бензина в резервуарах с понтонами, в которых негерметичность затвора характеризуется долей незакрытой поверхности. С их использованием разработана методика прогнозирования сокращения потерь бензина при применении понтонов и показано, что определяющее влияние на это сокращение оказывают номинальный объем, коэффициент оборачиваемости и уровень заполнения резервуаров.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

- 1 Коршак А.А., Коршак С.А. Массоотдача в емкости с частично открытой поверхностью бензина // Транспорт и хранение нефтепродуктов. – 1998. – №10. – С. 24-25.
- 2 Коршак А.А., Коршак С.А., Алсынбаев Р.М. К расчету потерь бензина от «больших дыханий» из резервуаров с высокой оборачиваемостью // Материалы Новоселовских чтений. – Уфа: Фонд содействия развитию научных исследований. – 1999. – Вып. 1. – С. 69-72.
- 3 Коршак А.А., Коршак С.А., Кулагин А.В. Влияние качества уплотнения кольцевого зазора между понтоном и стенкой резервуара на сокращение потерь бензина от испарения // Материалы Новоселовских чтений. – Уфа: Фонд содействия развитию научных исследований. – 1999. – Вып. 1. – С. 72-75.
- 4 Коршак С.А. Влияние превышения расхода на потери бензина при «большом дыхании» // Материалы Новоселовских чтений Уфа: Фонд содействия развитию научных исследований. – 1999. – Вып. 1. – С. 76-79.
- 5 Коршак А.А., Коршак С.А. Экологическая целесообразность применения плавающих покрытий в резервуарах // Новое в экологии и безопасности

- жизнедеятельности: Докл. 4-й Всерос. науч.-практ. конф. – СПб, 1999. – С. 404-406.
- 6 Коршак А.А., Коршак С.А. Эффективность применения плавающих покрытий в резервуарах для сокращения выбросов паров бензина // Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности: Докл. 4-й Всерос. науч.-практ. конф. – СПб, 1999. – С. 416-417.
 - 7 Коршак А.А., Коршак С.А. Универсальный метод расчета суммарных потерь от «дыханий» резервуаров // Изв. ВУЗов Нефть и газ. – 1999. – №4. – С. 85-87.
 - 8 Коршак С.А. О целесообразности применения понтонов в бензиновых резервуарах // Наука и технология углеводородных дисперсных систем: Материалы 2-го Междунар. симп. – Уфа, 2000. – Т.1. – С. 234-235.
 - 9 Коршак С.А. Исследование эффективности применения плавающих покрытий в резервуарах методами моделирования на ЭВМ // Нефть и газ Украины – 2000: Материалы 6-й Междунар. конф. – Ивано-Франковск, 2000. – Т.3. – С. 18.
 - 10 Коршак С.А. Метод расчета суммарных потерь от «дыханий» резервуаров // Научно-технические достижения в газовой промышленности. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2001. – С. 286-288.
 - 11 Тугунов П.И., Новоселов В.Ф., Коршак А.А. и др. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов. – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2002. – Гл. 10. Оценка фактических потерь нефти и нефтепродуктов. – С. 359-423.
 - 12 Коршак С.А. Критерий подобия для описания процессов массоотдачи в резервуарах длительного хранения нефти и нефтепродуктов // Транспорт и хранение нефтепродуктов. – 2002. - №10-11. – С. 27-28.
 - 13 Шаммазов А.М., Коршак А.А., Кулагин А.В. и др. Расчет потерь бензинов от испарения из резервуаров типа РВС и РГС: Учебное пособие. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2003. – 66 с.