ЛЕВИН СЕМЕН НАУМОВИЧ

Экспериментальное исследование эффективности применения гранулированного материала с закрытой пористой структурой для сокращения потерь нефтепродуктов при их хранении в резервуарах

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Специальность 25.00.19 - "Строительство и эксплуатация нефтегазопроводов, баз и хранилищ" (технические науки)

Москва – 2021

Нормативы естественной убыли нефтепродуктов в России

Продукт	Критерий оценки	Норма потерь для 3-го климатического пояса, %	Норма потерь для 2-го климатического пояса, %	Норма потерь для 1-го климатического пояса, %
Бензины	Оценка снизу*	0,229	0,189	0,112
	Оценка сверху**	0,582	0,506	0,425
Дизельное топливо	Средняя оценка***	0,037	0,031	0,026

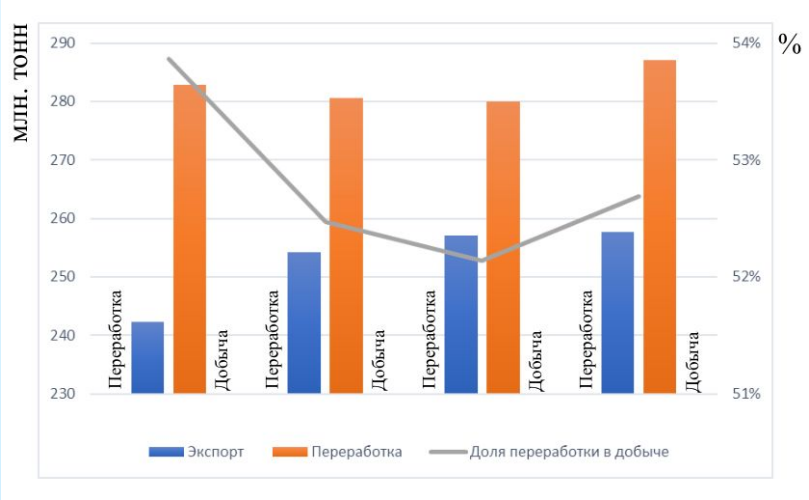
* Оценка снизу представляет собой среднее арифметическое между нормой убыли нефтепродукта в резервуаре объемом 5 тыс. $м^3$ в весенне-летний и осенне-зимний период;

**Оценка сверху представляет собой среднее арифметическое между нормой убыли нефтепродуктов в резервуаре до 100 $м^3$ в весенне-летний и осенне-зимний период.

***Средняя оценка представляет собой среднее арифметическое между нормами убыли в разных поясах климатической зоны.

Оценки приведены на основании норм естественной убыли нефтепродуктов при хранении принятых согласно приказу Минэнерго России от 16.04.2018 № 281 «Об утверждении норм естественной убыли нефтепродуктов при хранении»

Добыча нефти в России и доля (в процентах) ее переработки (млн. тонн)



Значительная часть (порядка 53%) нефти идет на переработку внутри страны

Оборудование	Эффективность сокращения потерь. %	Принцип работы
1	2	3
Диск-отражатель	15-20	Устройство в форме диска, устанавливаемое на некотором расстоянии под монтажными патрубками дыхательной арматуры. Направление движения паровоздушной смеси, поступающего через дыхательный клапан, изменяется диско-отражателем с вертикального на почти горизонтальное, поэтому из резервуара вытесняется паровоздушная смесь с меньшей концентрацией углеводородов.
Синтетический понтон	70-80 (80% от •больших дыханий-, 70	Понтон монтируется как во вновь строящихся, так и в находящихся в эксплуатации резервуарах, применяется в резервуарах со стационарной крышей. Конструктивно понтон представляет собой жесткую газонепроницаемую кон струкцию в форме диска, снабженную затвором, уплотняющим кольцевой зазор между -диском, и стенкой резервуара. Сокращение потерь за счет непосредственного контакта плавающего покрытия с зеркалом нефти.
Блочный алюминиевый понтон	До 93	
Плавающая крыша	80-90	Применяется в резервуарах, не имеющих стационарной кровли, в районах со снеговой нагрузкой не более 15 кПв. Для удалены паровоздушной смеси и газов из-под плавающей крыши ни ней установлен предохранительный клапан. Плавающие крыши снабжаются уплотняющими кольцевыми затворили в основном тех же типов, что и понтоны. Доступ на плавающую крышу обеспечивается по лестнице. Однако ввиду отсутствия стационарной кровли их снабжают защитными козырьками для предотвращения попадания атмосферных осадков на затвор и далее - в нефть.
УУЛФ	До 95*	Установки представляет собой автоматизированный блок, обеспечивающий отбор излишнего газа из резервуаров и подкачку в них подпиточного газа для исключения возможности попадания в него атмосферного воздуха. При достижения давления в резервуарах 50 мм вод ст. блок УЛФ включается и начинает откачку газа. При снижении давления в резервуарах до 6 мм вед. ст. открывается клапан подпитки газа, что предотвращает образование в них вакуума. Клапан автоматической подпитки газа закрывается, когда давление в резервуарах превышает 6 мм вод ст. Если давление в резервуарах увеличивается до 50 мм вод ст., процесс работы компрессора возобновляется. Но контрольной панели УЛФ имеется соответствующая индикация для определения состояния оборудования.
Газоуравнительная система	20-30	Система трубопроводов, соединяющая газовые пространства резервуаров. Если одновременно с заполнением резервуара 1 производится выкачка нефти из резервуара 2, благодаря газоуравнительной системе, часть паровоздушной смеси из резервуара 1 не пойдет в атмосферу, а по гаэоуравнительной системе перетечет в резервуар 2.
Микрошарики из пластмасс	60	Они представляют собой микросферы диаметром от 10 до 250 мкм, изготовленные из фенольно-формальдегидных смол, заполненные инертным газом - азотом. Промышленного применения не нашли из-за уноса из резервуаров вместе с откачиваемой нефтью, а также налипание на стенки резервуара.
Защитная эмульсия	До 70	Заключается в том, что на поверхности нефти помещается текучая концентрированная эмульсия с меньшей плотностью, чем у нефти. Эмульсия хорошо распространяется по всей поверхности нефти, изолируя ее от газового пространства. Может быть применена в уже эксплуатирующийся резервуарах с любой конструкцией кровли без ее модернизации. Не нашли промышленного применения из-за не продолжительного срока службы, уноса из резервуаров вместе с отживаемой нефтью.

Потребление нефтепродуктов по климатическим поясам России

№	Климатический пояс	Доля от населения РФ, %	Потребление нефтепродуктов, млн. тонн	
			Бензин	Дизельное топливо
1	1 - холодный макроклиматический район	4,7	1,65	1,10
2	2 - холодный умеренный макроклиматический район	77,4	27,25	18,11
3	3 – теплый умеренный макроклиматический район	17,9	6,30	4,19

Потери нефтепродуктов в системе нефтепродуктоснабжения России

Продукт	Критерий оценки	Потери для 3-го климатического пояса, тонн	Потери для 2-го климатического пояса, тонн	Потери для 1-го климатического пояса, тонн	Всего, тонн	Итого*, млн. рублей
Бензины	Оценка снизу	336,63	1201,73	43,12	1581,48	68,22
	Оценка сверху	855,54	3217,32	163,63	4236,49	182,75
Дизельное топливо	Средняя оценка	36,17	131,00	6,67	173,84	7,92

Целью диссертационной работы является теоретическое обоснование и экспериментальное исследование возможностей применения покрытий из гранулированного пеностекла в качестве защитных покрытий зеркала испарения в резервуарах для хранения нефти и нефтепродуктов.

На защиту выносятся следующие основные положения диссертационной работы:

- результаты исследования технологических свойств защитных покрытий зеркала испарения из гранулированного пеностекла;
- результаты экспериментальных исследований взаимодействия защитных покрытий зеркала испарения из гранулированного пеностекла с нефтепродуктами;
- концепция применения гранулированного материала с закрытой пористой структурой для сокращения потерь нефтепродуктов при их хранении в резервуаре.

Научную новизну работы составляют следующие положения:

- теоретическое обоснование потенциала снижения потерь от испарения в резервуарах при использовании защитных покрытий зеркала испарения из гранулированного пеностекла;
- алгоритмы экспериментальных исследований взаимодействия защитных покрытий зеркала испарения из гранулированного пеностекла с нефтепродуктами;
- расчетно-экспериментальное обоснование метода определения параметров защитных покрытий зеркала испарения из гранулированного пеностекла .

В работе предложено определять целесообразность применения средств сокращения потерь от испарения по величине достигаемого экономического эффекта:

$$Э_ф = \left(S_{бд} \times G_{бд} + S_{мд} \times G_{мд}\right) \times \sigma_н - \left(E_н + \xi_{ам} + \xi_{тр}\right) \times K$$

$S_{бд}$ $S_{мд}$, – достигаемое сокращение потерь соответственно от больших и малых дыханий;

$G_{бд}$ $G_{мд}$, – годовые потери от больших и малых дыханий;

$\sigma_н$ – цена нефтепродукта;

$E_н$ – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

$\xi_{ам}$ $\xi_{тр}$, – доля отчислений соответственно на амортизацию и текущий ремонт;

K – капитальные затраты, связанные с оборудованием резервуара средством сокращения потерь.

Используемые методики оценки потенциала снижения потерь от испарения в резервуарах защитных покрытий зеркала испарения из гранулированного пеностекла

Потери от «больших дыханий» рассчитываются по формуле В.И. Черникина:

$$G_{бд} = \left[V_н - V_г \times \left(\frac{P_2 - P_1}{P_2 - P_у}\right)\right] \times \frac{P_у}{P_2} \times P_у \quad ,$$

Потери от «малых дыханий» рассчитываются по формуле Константинова Н.Н.:

$$\Delta V = V_г \times \ln\left[\frac{(P_a - P_{кв} - P_{min}) \times T_{rmax}}{(P_a + P_{кд} - P_{max}) \times T_{rmin}}\right],$$

Эффективность работы покрытия определяется путем измерения концентрации паров нефтепродуктов

Потери углеводородов рассчитываются по формуле:

G = V x C x r ,

где G - потери углеводородов, кг;

V - объем паровоздушной смеси, вышедшей из резервуара за измеряемый промежуток времени, приведенный к давлению 0,101 МПа и температуре 273 К, $м^3$;

C - концентрация углеводородов в выходящей из резервуара паровоздушной смеси, доли единицы;

r - средняя плотность вытесняемых из резервуаров углеводородных паров, приведенных к давлению 0,101 МПа и температуре 273 К, $кг/м^3$.

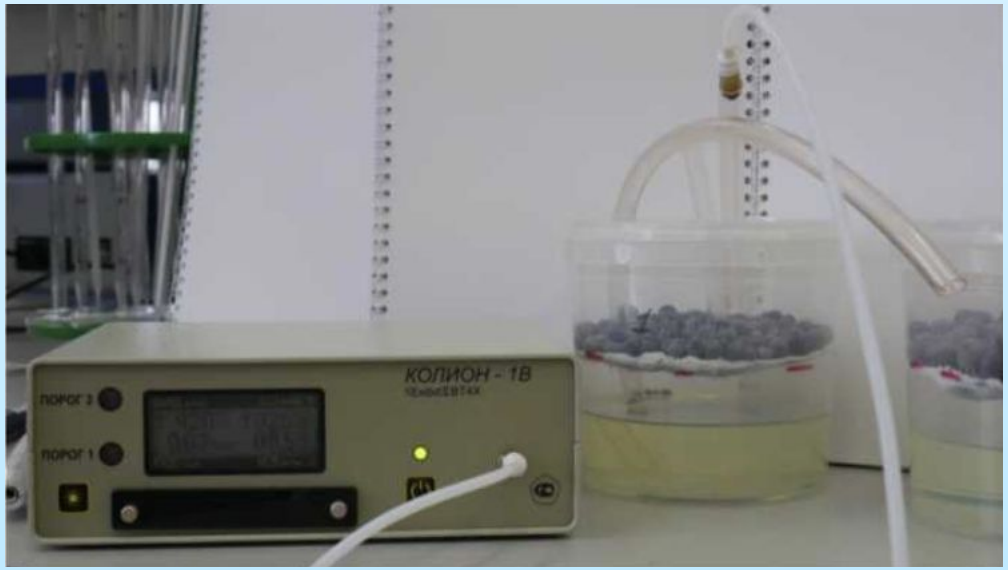
Эффективность работы покрытия $\mathbf{S_{ГПС}}$:

$$\mathbf{S_{ГПС}=[1-C_{ГПС}/C]100, в\ \%\ ,}$$

Где $C_{ГПС}$ – концентрация паров нефтепродуктов до применения ГПС, С – концентрация паров нефтепродуктов после применения ГПС.

Для эксперимента использовалось аттестованное оборудование – четырехдетекторный газоанализатор КОЛИОН-18. Прибор используется для измерения:

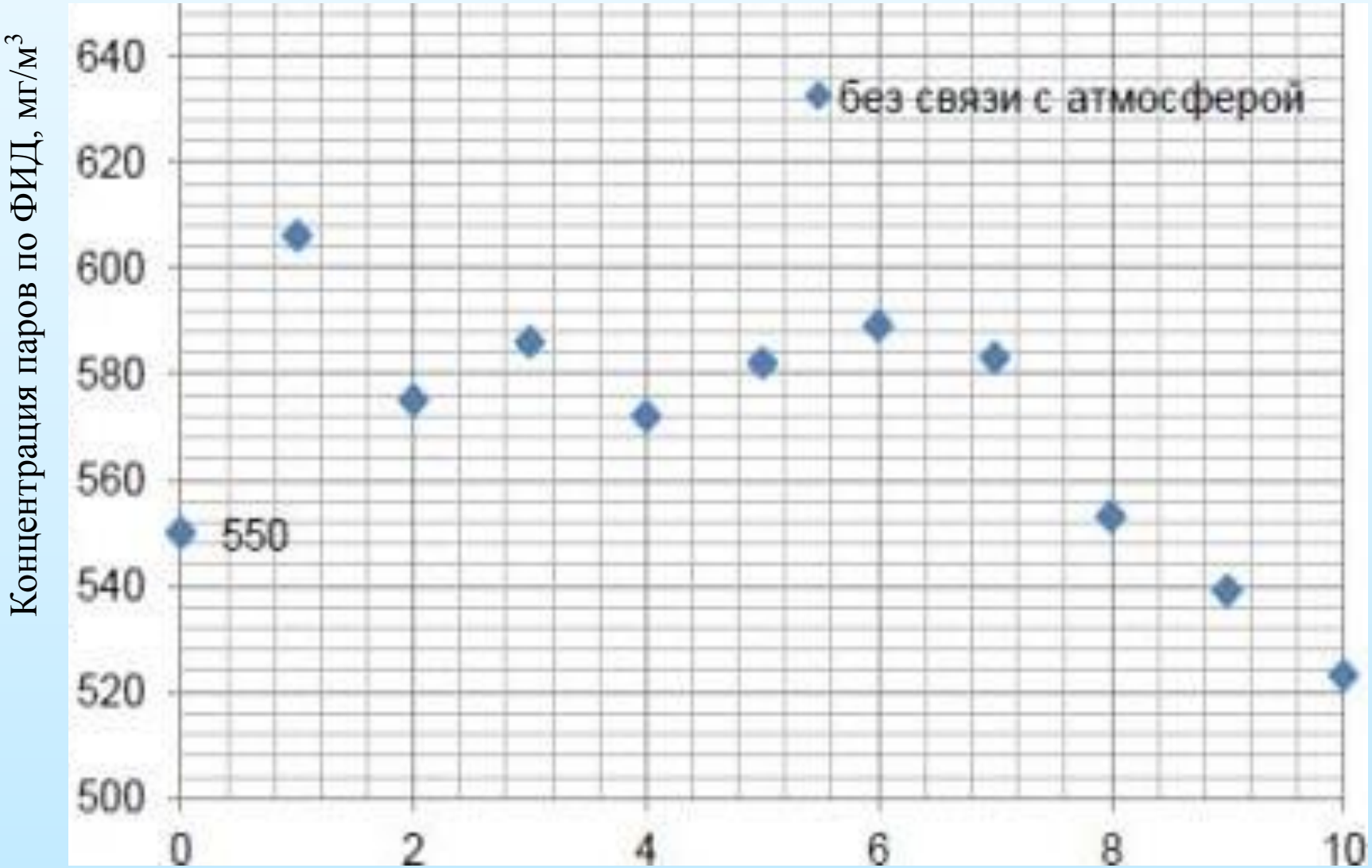
- углеводородов, нефти, бензина и других нефтепродуктов (посредством фотоионизационного детектора в диапазоне измерений 0-2000 мг/м^3);
- метан(посредством термокаталитического детектора в диапазоне измерений 0-50%);
- сероводород(посредством электрохимического детектора в диапазоне измерений 0-30 мг/м^3);
- оксид углерода(посредством электрохимического детектора в диапазоне измерений 0-30 мг/м^3).



Технические характеристики фотоионизационного газоанализатора

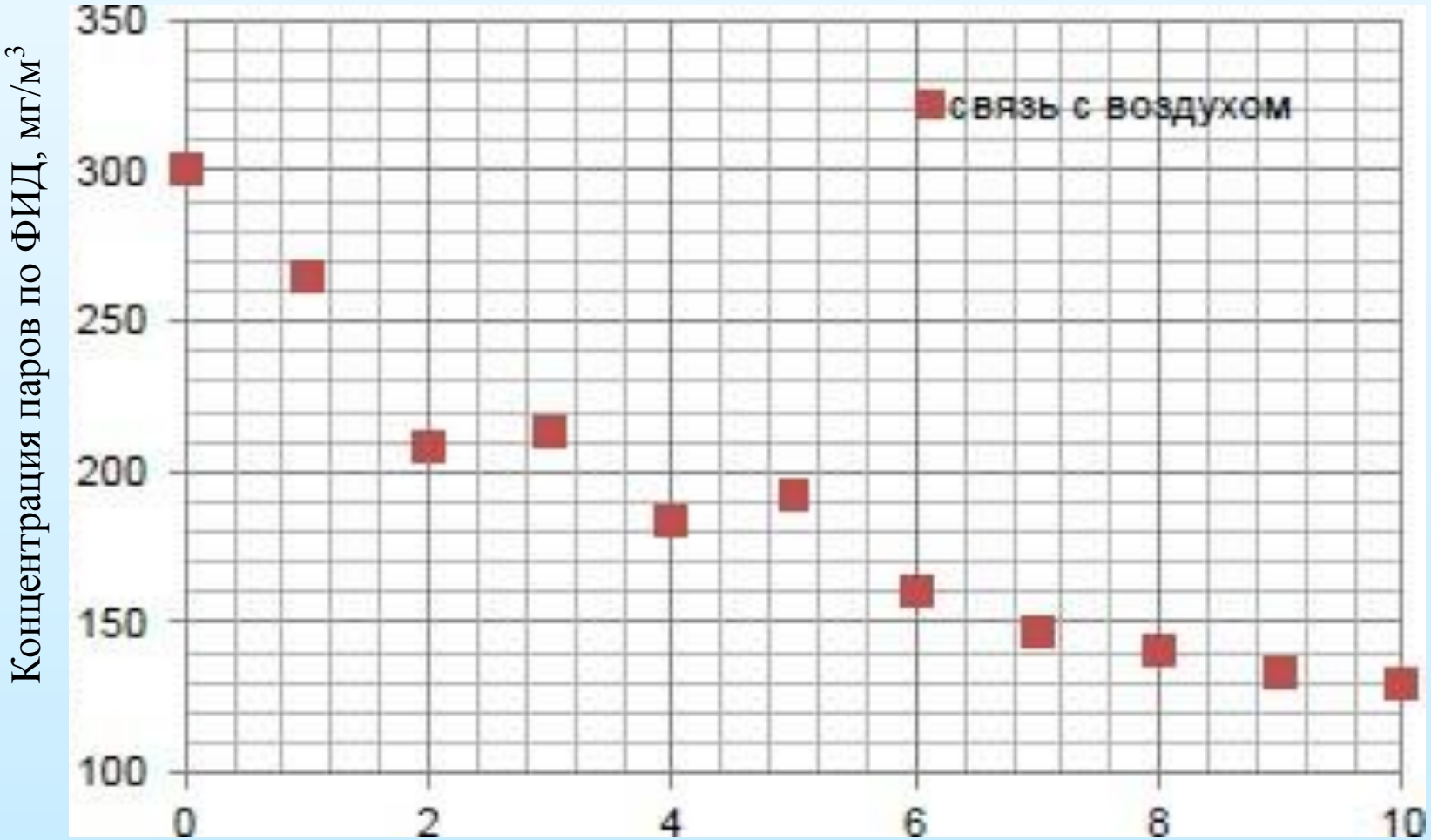
Характеристики	Значения
Принцип измерения	фотоионизационный
Отбор пробы	принудительный
Диапазон измерения, мг/м^3	0 - 2000
Погрешность измерения, %:	
- ФИД приведенная в диапазоне (0 - 10) мг/м^3	± 15
- ФИД относительная в диапазоне (10 - 2000) мг/м^3	± 15

График зависимости испаряемости от объема засыпки ГПС фракции 5-10 мм в условиях геметично закрытой емкости



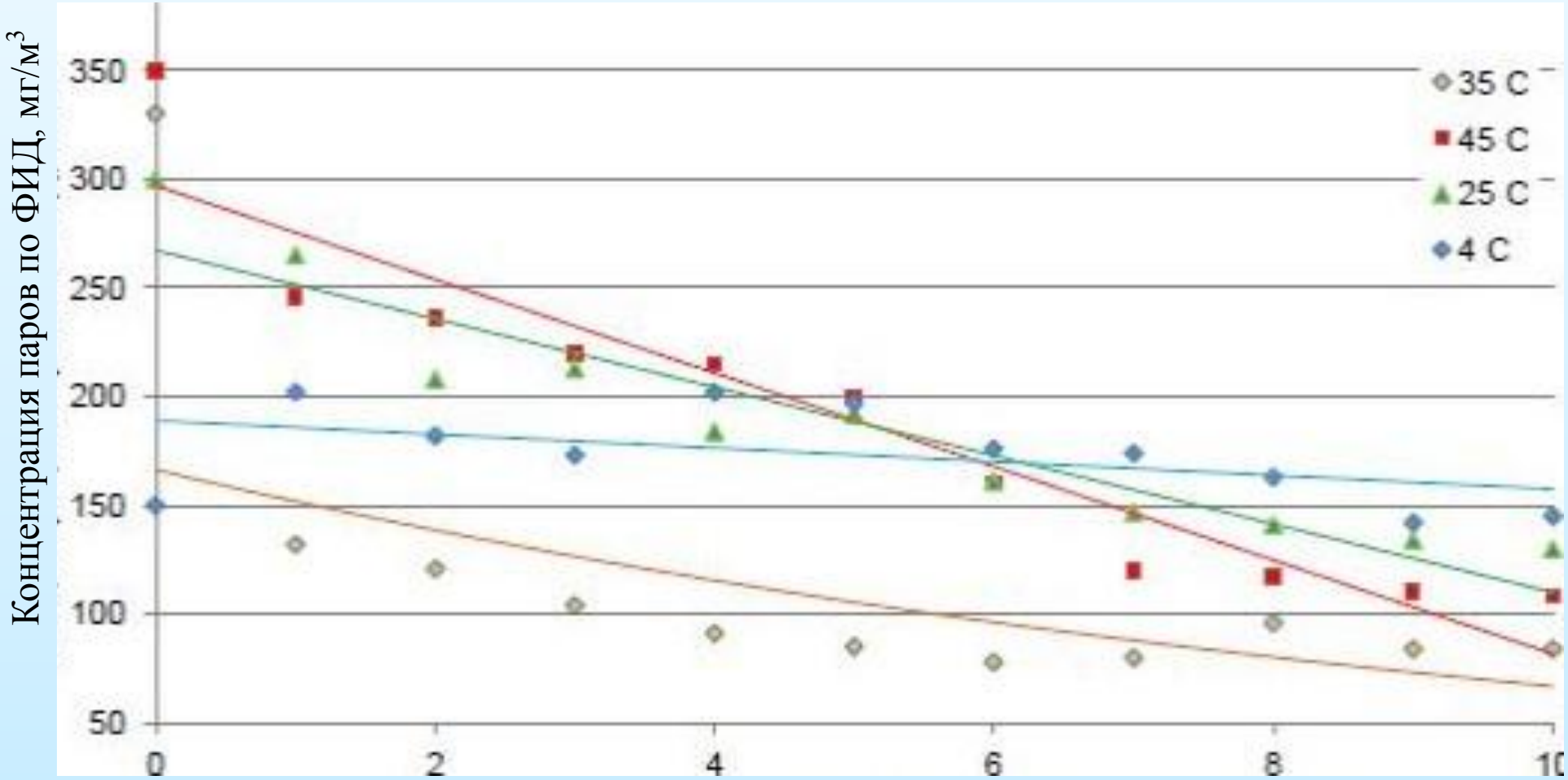
Количество рядов засыпки ГПС фракции 5-10 мм, ед.

График зависимости испаряемости от концентрации паров и количества рядов засыпки



Количество рядов засыпки ГПС фракции 5-10 мм, ед.

Определение испаряемости под влиянием температурного фактора



Количество рядов засыпки ТС фракции 5-10 мм, ед.

Исследование защитных свойств ГПС

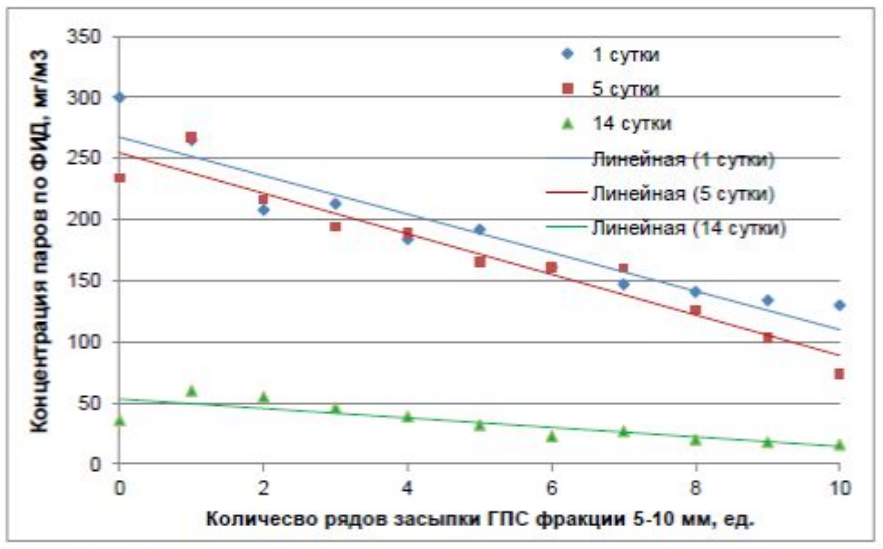


График зависимости испаряемости от объема засыпки фракции 5-10 мм в условиях связи с атмосферой при варьировании фактора времени

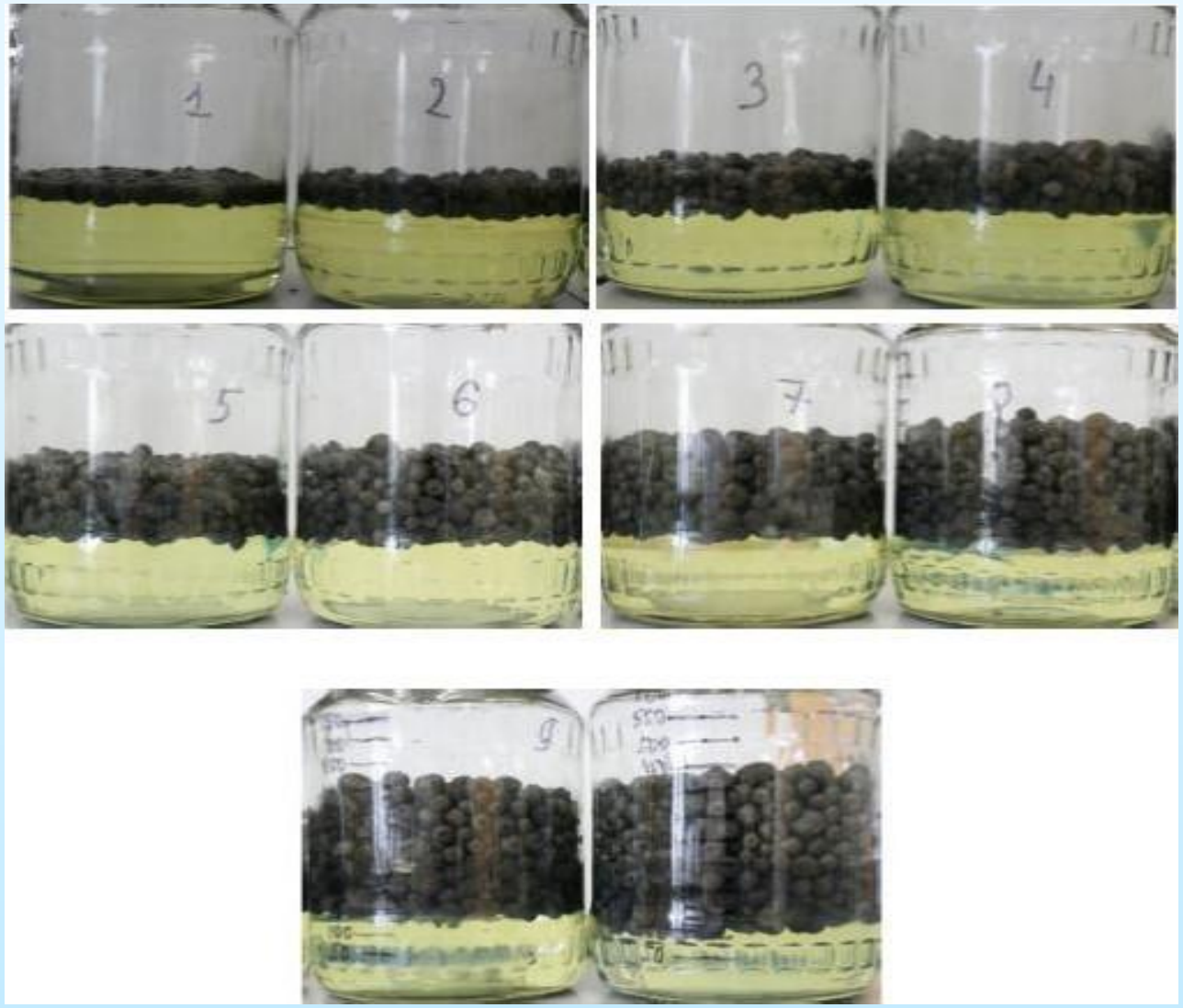
Количество рядов	1 сутки	5 сутки	14 суток	5 суток	14 суток
	X_0	X_1^5	X_1^{14}	K_1^5	K_1^{14}
0	300	234	36	0,78	0,12
2	260	216	55	0,83	0,21
4	205	172	45	0,83	0,21
6	175	155	32	0,88	0,18
8	147	125	26	0,85	0,17
10	128	80	13	0,63	0,1

Количественным показателем изменения свойств ГПС в этом случае является коэффициент сохраняемости : $K_1^{14} = \frac{x_1^{14}}{x_0}$ $K_1^5 = \frac{x_1^5}{x_0}$

Где x_1^5 и x_1^{14} - концентрация паров нефтепродуктов на 5-е и 14-е сутки испытания.

Характеристикой эффективной работы покрытия, является значение $K_n \leq 1$

Экспериментальное исследование обволакиваемости частиц используемого ГПС и силы сцепления между ними



Эксперимент показал, что гранулы остаются не связанными. Несмотря на полную обволакиваемость всех слоев ГПС, испаряемость из емкости уменьшилась. В первые два часа после загрузки (пробы 1-7) слои ГПС полностью пропитаны. В пробах 8-10 не пропитаны верхние три слоя. Через пятнадцать часов пробы 1-10 полностью пропитаны, визуализируется выпотевание жидкой фазы до восьмого слоя.

Обволакиваемость через 15 часов после загрузки эксперимента

Экспериментальное исследование возможности возникновения и накопления на них разрядов статического электричества

1 образец топлива	**2 образец топлива**	**3 образец топлива**
Удельная электрическая проводимость исходного образца топлива	***Удельная электрическая проводимость отфильтрованного топлива, после 24 ч контакта при комнатной температуре с гранулированным пеностеклом (4-10мм), промытым в гептане***	***Удельная электрическая проводимость отфильтрованного топлива, после 24 ч контакта при комнатной температуре с непромытым гранулированным пеностеклом (4-10мм)***
1 пСм/м	2 пСм/м	2 пСм/м

Условия проведения испытаний:

температура проведения испытаний: 22 °С

время проведения испытаний: 24 ч.

<u>2 образца гранулированного пеностекла (ГПС):</u>

1 образец – гранулированное пеностекло (размер 4-10 мм), промытое в гептане и высушенное при 22 °С

1 образец – непромытое гранулированное пеностекло (размер 4-10 мм)

<u>3 образца топлива:</u>

1 образец – исходное нефильтрованное топливо

2 образец - топливо, выдержанное в течение суток при комнатной температуре с пеностеклом, промытым в гептане, и затем отфильтрованное через фильтр белая лента

3 образец - топливо, выдержанное в течение суток при комнатной температуре с непромытым пеностеклом и затем отфильтрованное через фильтр белая лента

Исследования по испарению авиационного топлива

Наименование	Ёмкость1 - контрольный Топливо ТС-1	Ёмкость 2 - Топливо ТС-1 + ГПС 4-10 мм	Ёмкость 3 - Топливо ТС-1 + ГПС 10-35 мм
Площадь поверхности	6644 мм^2	6558 мм^2	6819 мм^2
	Топливо Масса, г	Топливо Масса, г	Топливо Масса, г
29.03.2019	779,90	778,61	778,71
		Добавлен ГПС 4-10 мм, слой 4-5 см (+20,78 г ГПС)	Добавлен ГПС 10-35 мм, слой 4-5 см (+28,09 г ГПС)
26.04.2019	638,36	706,70	690,83
Испарение, г	Уменьшение массы топлива на 141,54 г	Уменьшение массы топлива на 71,90 г	Уменьшение массы топлива на 87,88 г
06.05.2019	615,44(-21,08%)	690,16(-11,46%)	673,21(-13,56%)
Испарение, г	Уменьшение массы топлива на 164,46 г	Уменьшение массы топлива на 88,45 г, из них 20,88 г сорбировано ГПС	Уменьшение массы топлива на 105,50 г, из них 8,78 г сорбировано ГПС
		Масса ГПС после испытания 41,66 г.	Масса ГПС после испытания 36,87 г.
	Внешний вид топлива после испытания: механические примеси отсутствуют	Внешний вид топлива после испытания: присутствуют механические примеси на дне стакана, топливо имеет легкий желтоватый оттенок.	Внешний вид топлива после испытания: присутствуют механические примеси на дне стакана.

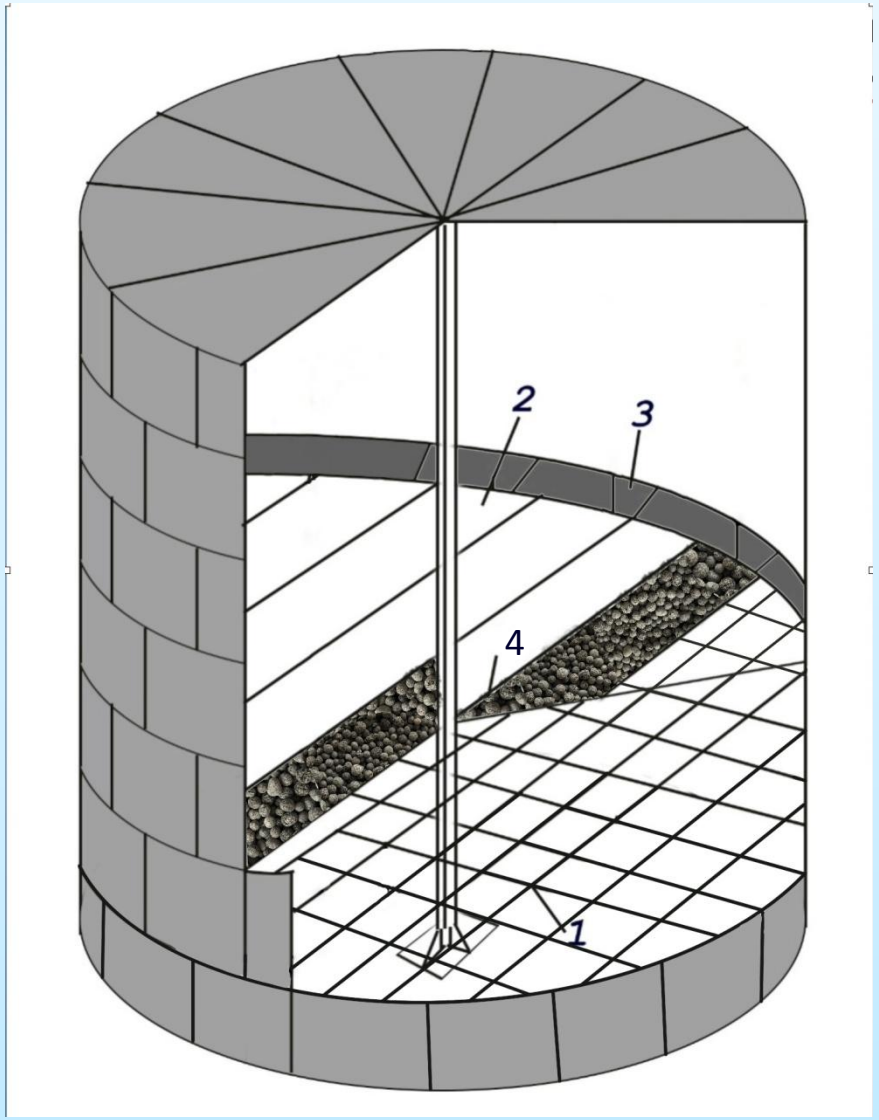
Испытание механической прочности ГПС

Общий вид емкости с дистиллированной водой, ДТ и ТС после интенсивного встряхиванию в течение 15 минут

Испытания проводились путем интенсивного встряхивания, после которого наблюдалось изменение цвета топлива, появление мутности и взвеси на дне ёмкости, что является недопустимым. Очевидно, что на этапе подготовки к помещению в резервуар потребуется дополнительная очистка гранул от микро частиц пепла.

Процент мутности и взвеси не определяется, визуально выглядит не значительно.

Технологическая схема создания защитного покрытия из гранулированного пеностекла для резервуаров



1.Вантовая решетка.

2.Панели из медной проволоки.

3.Уплотняющий затвор.

4.Слои гранулированного пеностекла.

Конструктивные изменения резервуара будут состоять в устройстве вантовой решетки.

Утилизация отработанного гранулированного материала в бетоне и асфальтобетоне

Бетон с наполнителем из ГПС

Состав бетона с ГПС		Состав асфальтобетона с ГПС	
Наименование компонентов	Содержание компонентов на 1 м^3 исходного состава, кг	Наименование компонентов	Содержание компонентов, %
Портландцемент М400	250	Щебень	34,5
Песок плотный, р = 1600 кг/м^3	90	Песок	38
Гранулированное пеностекло Р = 195,5 кг/м’: фракции 5-10 мм фракции	85	Вяжущие материалы (битум)	7,5
Вода, л	110	Гранулированное пеностекло	20

Эффективность применения гранулированного пеностекла для сокращения потерь нефтепродуктов от испарения рекомендуется оценивать по максимальной величине чистого дисконтированного дохода, равного:

$$ЧДД = \sum_{i=0}^{N} \frac{\sigma_н \times S_i \times G_п - Э_i - K_i}{(1+E)^i},$$

где $\sigma_н$ — усредненная среднегодовая цена 1 т нефтепродукта; S_i — сокращение потерь, $Э_i$, - эксплуатационные затраты, K_i — капитальные вложения при применении защитных покрытий из гранулированного пеностекла в i-м году; $G_п$— годовые потери нефтепродукта от испарения на рассматриваемом объекте; E — норматив приведения (дисконта); N — продолжительность службы средств сокращения потерь, лет.

S_i — сокращение потерь, определяется через эффективность, работы защитных покрытий из гранулированного пеностекла в резервуаре.

$$\mathbf{С_{ИСП} = К_И \times КЭ \times Н_{БИСП} \times М_{ИСП}}$$

где $С_{ИСП}$ - величина ущерба, $М_{ИСП}$ - масса нефтепродукта (испарившихся) загрязняющих веществ, $Н_{БИСП}$ - базовые нормативы компенсации за выброс в атмосферу единицы загрязняющих веществ в пределах установленных ограничений, $К_И$ - коэффициент индексации цен, КЭ - коэффициент экологической ситуации.

Общие выводы

1. Показано наличие, полностью не устраняемых на современном уровне развития систем транспорта и хранения углеводородов, потерь от испарения из резервуаров III класса с объемами от 100 до 5000 м^3. ущерб, определяемый этими потерями, носит как экономический, так и экологический характер.
2. Дано теоретическое и экспериментальное обоснование потенциала снижения потерь от испарения в резервуарах при использовании защитных покрытий зеркала испарения из гранулированного пеностекла .
3. Результаты экспериментальных исследований взаимодействия защитных покрытий зеркала испарения из гранулированного пеностекла с нефтепродуктами показали отсутствие факторов, которые могли бы снижать защитные свойства гранулированного пеностекла.
4. Разработана концепция применения гранулированного материала с закрытой пористой структурой для сокращения потерь нефтепродуктов при их хранении в резервуаре и установлены технологические и конструкционные требования по эксплуатации защитных покрытий зеркала испарения из гранулированного пеностекла

Спасибо за внимание!