

EDN: ZJEMBT

УДК 699.82:624.07:69.07:692.843

**В. А. МАЗУР, В. О. КИСЕЛЁВА**

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

## **ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ПОЛОВ КАРЕ НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИХ УСТРОЙСТВА С УЧЁТОМ ЁМКОСТИ РЕЗЕРВУАРНЫХ ПАРКОВ**

**Аннотация.** Установлено, что в практике отечественного проектирования отсутствуют нормы и рекомендации по устройству полов и ограждения каре резервуарных парков, что приводит не только к увеличению стоимости их устройства, но и к серьёзным экологическим загрязнениям в случае протечки банок-танкера. Сложность выбора рационального конструктивного решения полов каре резервуарных парков связана не только с требованиями промышленной, пожарной и технологической безопасности, но и с компоновкой самого резервуарного парка, зависящего от ёмкости и расположения отдельных банок-танкеров и других факторов. В работе выполнено ранжирование факторов для определения наиболее важных. Для отобранных факторов получены уравнения регрессии, позволяющие прогнозировать трудоёмкость и стоимость работ по устройству полов каре с учётом объёма резервуарного парка и конструктивного решения пола. Обоснована необходимость дальнейших исследований.

**Ключевые слова:** резервуарный парк, пол каре, конструктивное решение, ёмкость резервуарного парка, технико-экономические показатели.

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Бурное развитие научно-технического прогресса в промышленности напрямую связано с использованием нефти и нефтепродуктов, начиная от потребности в топливе и заканчивая изготовлением стройматериалов и пластмасс. Потребность отдельных регионов в данных продуктах реализуется через строительство нефтехранилищ и заводов по её переработке.

Проектирование и строительство резервуарных парков регламентируется строительными нормами и рекомендациями, включающими требования как к отдельным конструкциям и системам, так и к резервуарному парку в целом. Но в отличие от чётких нормативных требований, предъявляемых к проектированию и устройству непосредственно банок-танкеров, научно обоснованные практические рекомендации по устройству полов и ограждения каре резервуарных парков отсутствуют как в отечественной нормативной базе, так и в зарубежной.

Также на сложность выбора рационального конструктивного решения полов каре резервуарных парков влияет компоновка самого резервуарного парка [1]. Так, резервуарные парки с одинаковым объёмом хранения могут проектироваться с разными по ёмкости банками-танками, что приводит к изменению площадей хранения и размеров ограждения (стен или обвалования), а значит и к изменению технико-экономических показателей выбранного решения.

### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

Так как резервуарные парки относятся к технически сложным и потенциально опасным объектам, проблемы их планирования и компоновки, промышленной и технологической безопасности, проектирования самих резервуаров изучали не только отдельные отечественные и иностранные учёные, но и ряд проектных институтов и организаций.



Так, планированию территории нефтебазы, проектированию конструкций резервуаров и систем трубопроводов посвящены труды учёных: Г. А. Пектемирова, Г. В. Шишкина, Л. А. Мацкина, И. Л. Черняка, М. С. Илембитова, Г. А. Грознова, [4\]-7]. Проблемы промышленной безопасности при эксплуатации резервуарных парков изучали: С. В. Алексеев, В. А. Алексеева, С. И. Поникаров, Н. Д. Иванов, Ф. Ф. Абузова [8–10]. Вопросы, связанные с предотвращением аварий и безопасной компоновкой, рассматривали учёные: A. Sengupta, A. Gupta, I. Mishra, M. Yi-Fei, Z. Dong-feng, X. Wua, L. Houa, W. Liua, S.R. Nabavi, A.H.Taghipour, M. Zhang, Z. Dou [11–15] и др.

Но, несмотря на множество исследований в данной области, вариантной проработкой конструктивных решений устройства полов и ограждения каре резервуарных парков нефти и нефтепродуктов практически никто не занимался, поэтому отсутствуют научнообоснованные решения и рекомендации по их проектированию, устройству, ремонту и эксплуатации. Анализ опыта проектирования полов каре резервуарных парков показал, что толщина защитного слоя выбирается согласно рекомендациям по устройству полигонов по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов [3], так как рекомендации по устройству полов каре нефтехранилищ отсутствуют. Также установлено, что в отечественной практике отсутствуют классификации по разным признакам и типизация конструкций полов каре резервуарных парков для хранения нефти и нефтепродуктов.

### ЦЕЛИ

Определение влияния конструктивных решений полов каре и ёмкости резервуарных парков на технико-экономические показатели их устройства.

### ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

В работе рассматриваются полы каре резервуарных парков, состоящих из одиночных банок-танкеров (рис. 1).

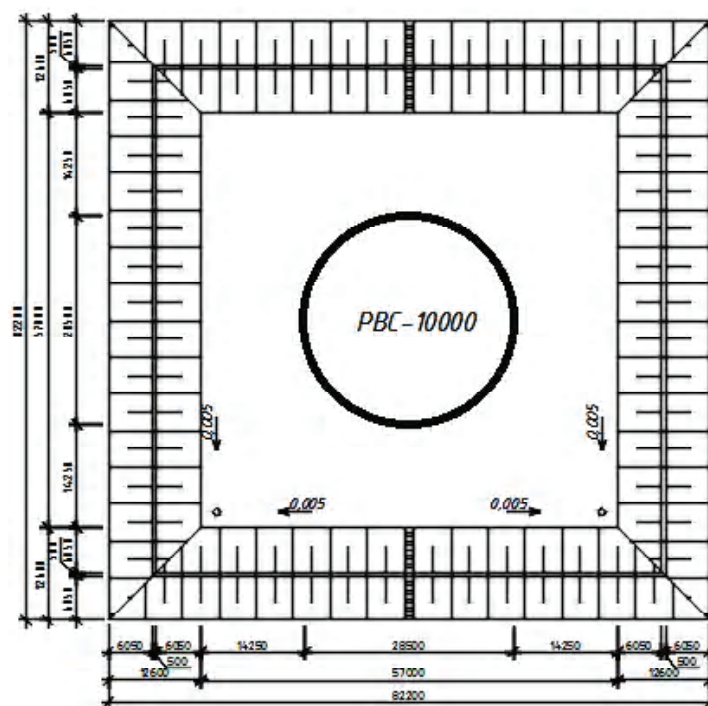
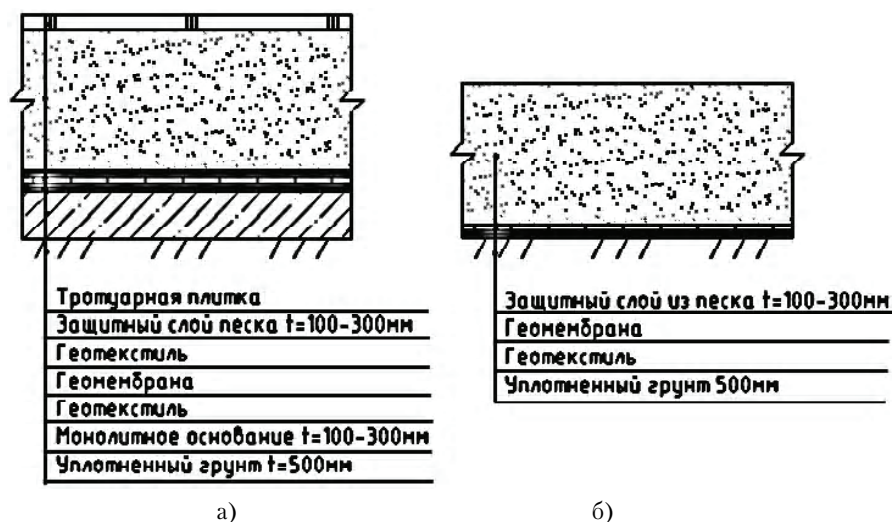


Рисунок 1 – Пример компоновки резервуарного парка PBC-10000, состоящего из одной банки-танкера.

Установлено, что пол каре резервуарного парка состоит из 3–6 слоёв в зависимости от принятого конструктивного решения [16]. В целом любое конструктивное решение пола состоит из основания, изоляционного и защитного слоёв (рис. 2).

В качестве основания, как правило, используют уплотнённый грунт, монолитную железобетонную плиту или сборные железобетонные плиты, уплотнённую песчаную подсыпку.



**Рисунок 2** – Рассматриваемые конструктивные решения полов каре: а) шестислойная конструкция пола каре, б) трёхслойная конструкция пола каре.

Изоляционный слой, выполняющий функции не только гидроизоляции (защита от проникновения влаги в конструкцию пола), но, в большей степени, противодиффузионные (защита при разливах нефти), выполняется из прокладных (геомембрана, ПНД-плёнка, бентонитовые маты) или мастичных материалов. Его выполняют не только на свободной от строений площадке, но и под днищем резервуаров, а также на внутренней поверхности ограждения каре [2].

Защитный слой представляет собой гравийную отсыпку, озеленённый слой грунта или тротуарную плитку.

При необходимости между основными слоями устраивают промежуточные разделительные слои из геотекстиля или стекловолокна.

Так как на технико-экономические показатели устройства пола каре влияют не только требования к негорючести и химической стойкости защитного покрытия, сочетания нагрузок, но и целый ряд других факторов (конструктивное решение самого пола каре, планировочно-компоновочные характеристики резервуарного парка, дальность доставки, инженерно-геологические условия площадки и т. д.), было выполнено ранжирование этих факторов по степени значимости.

Факторы проранжированы по 8-балльной шкале по степени влияния (табл. 1), где наибольшее значение является более значимым.

**Таблица 1** – Ранжирование факторов, влияющих на выбор конструктивно-технологического решения полов и ограждения каре резервуарных парков

№	Наименование фактора	Ранжирование
1	Нагрузки постоянные, временные, аварийные (розлив нефти)	8
2	Долговечность конструкции пола	5
3	Объём резервуарного парка	7
4	Состав пола и толщина отдельных слоёв	6
5	Дальность доставки материалов	2
6	Гидрогеологические условия	3
7	Специфические требования (негорючесть защитного слоя, гидро-, био- и химическая стойкость материалов)	4
8	Природно-климатические условия строительства	1

В результате установлено, что наиболее значимыми являются нагрузки на пол каре, состав пола и толщина отдельных слоёв, общий объём резервуарного парка, долговечность конструкции пола.

В общих нормативных требованиях и рекомендациях нагрузки на конструкцию, гидрогеологические и природно-климатические условия строительства учитываются при проектировании основания пола (несущего слоя). Потому в работе они объединены в один общий фактор – толщину основания.

Для определения влияния выбранных факторов на основные технико-экономические показатели выполнен регрессионный анализ. В результате регрессионного анализа установлено, что дальность поставки материалов является незначительным фактором, поэтому дальнейшие исследования проводились с помощью программного комплекса Microsoft Office Excel по трёхфакторному плану на основании 8 экспериментов.

В качестве параметров трёхфакторной линейной множественной регрессии были приняты следующие факторы:  $X_1$  – количество слоёв, шт.;  $X_2$  – толщина основания, м;  $X_3$  – общий объём резервуарного парка, тыс. м<sup>3</sup>.

Для каждого фактора минимальными и максимальными границами являются следующие значения:

- для фактора  $X_1$  (k, количество слоёв, шт.): минимальное значение «–» составляет 3, максимальное «+» 6 – принят на основании анализа всех возможных конструктивных решений полов каре;
- для фактора  $X_2$  ( $t_{осн}$ , толщина основания, м): минимальное значение «–» составляет 0,1 м, максимальное «+» 0,3 м – принят на основании анализа нагрузок на основание пола каре;
- для фактора  $X_3$  (VП, ёмкость одиночного резервуарного парка, тыс. м<sup>3</sup>): минимальное значение «–» составляет 10, максимальное «+» 50 – принят на основании анализа мирового опыта компоновки резервуарных парков.

В процессе исследований установлено, что ввиду специфики компоновки резервуарных парков отдельными ёмкостями, показатели фактора  $X_3$  (тыс. м<sup>3</sup>) необходимо разделить на три группы по ёмкости: первая группа:  $10 \leq X_3 < 30$ ; вторая группа:  $30 \leq X_3 < 40$ ; третья группа:  $40 \leq X_3 \leq 50$ .

Обработка полученных данных первой группы для резервуарных парков с объёмом до 30 тыс. м<sup>3</sup> представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Матрица показателей корреляции

№ опыта	Кодированные величины			Факторы			Т – трудоёмкость конструктивных решений, чел.-дн	С – стоимость конструктивных решений, тыс. руб.
	k	$t_{осн}$	VП	k, шт.	$t_{осн}$ , м	VП, тыс. м <sup>3</sup>		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	+	+	+	6	0,3	30	4 382,92	11 732,13
2	+	+	–	6	0,3	10	1 712,08	4 582,86
3	+	–	–	6	0,1	10	1 288,77	3 107,58
4	+	–	+	6	0,1	30	3 299,24	7 955,40
5	–	+	+	3	0,3	30	2 725,74	7 827,24
6	–	–	+	3	0,1	30	2 016,46	5 522,80
7	–	+	–	3	0,3	10	1 064,74	3 057,52
8	–	–	–	3	0,1	10	787,68	2 157,35
Регрессионная статистика трудоёмкости				Дисперсионный анализ трудоёмкости				
Множественный R			0,972	F				22,639
R – квадрат			0,944	Значимость F				0,0057
Нормированный R – квадрат			0,903					
Наблюдения			8					
Регрессионная статистика стоимости				Дисперсионный анализ стоимости				
Множественный R			0,971	F				21,975
R – квадрат			0,943	Значимость F				0,00602
Нормированный R – квадрат			0,899					
Наблюдения			8					

Аналогичные расчёты выполнялись для резервуарных парков второй группы (объёмом от 30 до 40 тыс. м<sup>3</sup>) и третьей группы (объёмом от 40 до 50 тыс. м<sup>3</sup>).

На основании матрицы показателей корреляции были составлены уравнения линейной множественной регрессии, позволяющие прогнозировать трудоёмкость и стоимость работ с учётом конструктивного решения (состава) пола, объёма резервуарного парка и толщины основания пола (табл. 3–4).

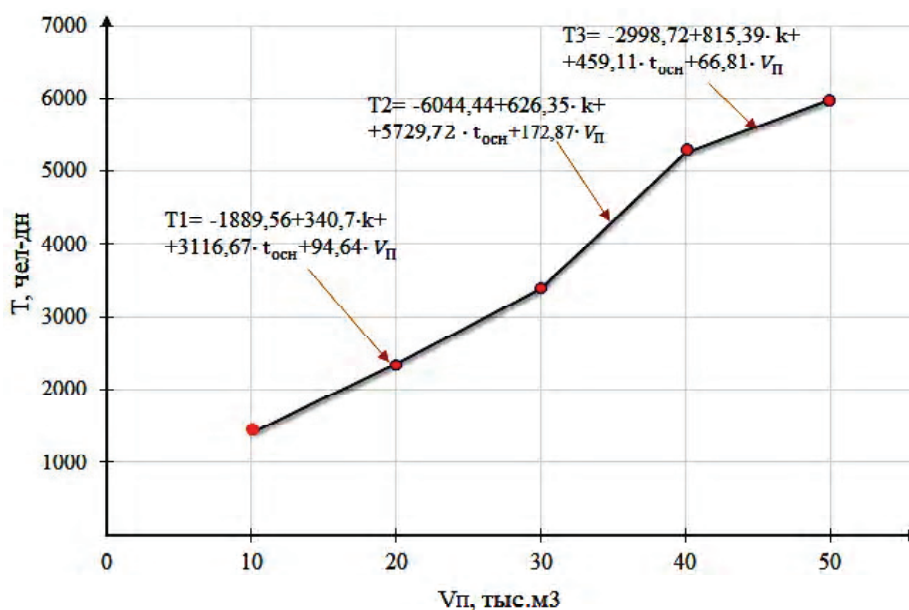
Объединив значения показателей стоимости и трудоёмкости согласно уравнению регрессии, можем получить следующий общий вид (рис. 3, 4).

**Таблица 3** – Многофакторные модели уравнений множественной регрессии для прогнозирования влияния конструктивного решения пола каре резервуарных парков на трудоёмкость

Общие факторы	Фактор $V_{\Pi}$	Уравнение регрессии ( $T$ – трудоёмкость, чел.-дн)	Коэффициенты детерминации
$k, t_{\text{осн}}$	10...30 тыс. м <sup>3</sup>	$T = -1\,889,56 + 340,7 \cdot k + 3\,116,67 \cdot t_{\text{осн}} + 94,64 \cdot V_{\Pi}$	$R^2 = 0,9428$
$k, t_{\text{осн}}$	30...40 тыс. м <sup>3</sup>	$T = -6\,044,44 + 626,35 \cdot k + 5\,729,72 \cdot t_{\text{осн}} + 172,87 \cdot V_{\Pi}$	$R^2 = 0,9644$
$k, t_{\text{осн}}$	40...50 тыс. м <sup>3</sup>	$T = -2\,998,72 + 815,39 \cdot k + 459,11 \cdot t_{\text{осн}} + 66,81 \cdot V_{\Pi}$	$R^2 = 0,985$

**Таблица 4** – Многофакторные модели уравнений множественной регрессии для прогнозирования влияния конструктивного решения пола каре резервуарных парков на стоимость

Общие факторы	Фактор $V_{\Pi}$	Уравнение регрессии ( $T$ – трудоёмкость, чел.-дн)	Коэффициенты детерминации
$k, t_{\text{осн}}$	10...30 тыс. м <sup>3</sup>	$T = -4\,709,26 + 733,42 \cdot k + 10\,570,8 \cdot t_{\text{осн}} + 251,65 \cdot V_{\Pi}$	$R^2 = 0,9428$
$k, t_{\text{осн}}$	30...40 тыс. м <sup>3</sup>	$T = -15\,493,2 + 1\,350,17 \cdot k + 19\,433,5 \cdot t_{\text{осн}} + 459,67 \cdot V_{\Pi}$	$R^2 = 0,956$
$k, t_{\text{осн}}$	40...50 тыс. м <sup>3</sup>	$T = -7\,219,39 + 1\,757,69 \cdot k + 25\,299 \cdot t_{\text{осн}} + 177,65 \cdot V_{\Pi}$	$R^2 = 0,9703$



**Рисунок 3** – Общий вид полученных значений трудоёмкости.

### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Полученные уравнения регрессии позволяют прогнозировать трудоёмкость и стоимость работ по устройству полов каре с учётом объёма резервуарного парка, конструктивного решения пола и толщины несущего основания.

2. Ввиду множества решений и сочетаний слоёв в конструктивных решениях полов каре резервуарных парков необходимо типизировать основные конструктивно-технологические решения по основным классификационным требованиям.

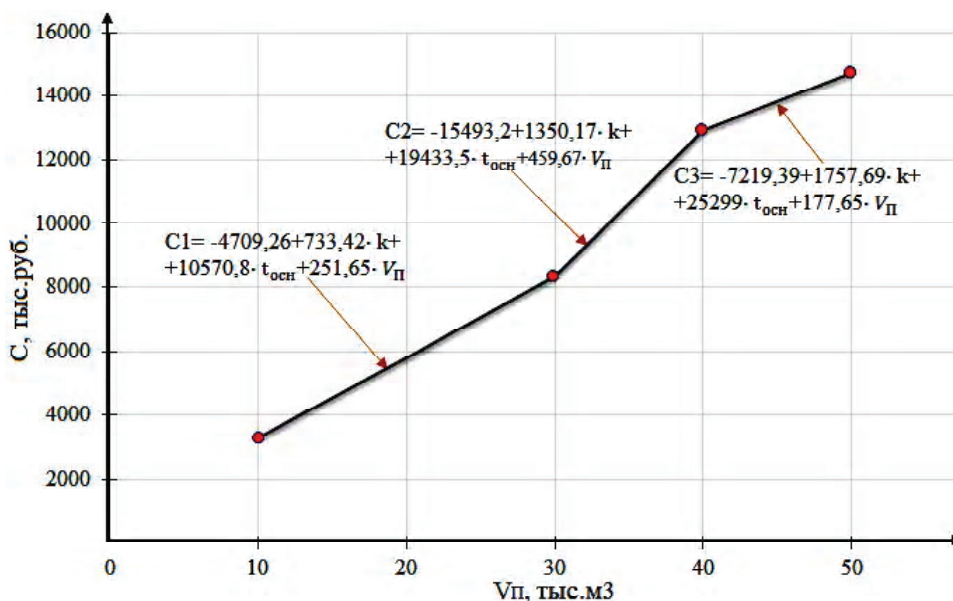


Рисунок 4 – Общий вид полученных значений стоимости.

3. Необходимы дальнейшие исследования, направленные на оптимизацию конструктивно-технологических решений по устройству полов и ограждения каре резервуарных парков для хранения нефти и нефтепродуктов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- СП 155.13130.2014. Склады нефти и нефтепродуктов. Требования пожарной безопасности = Warehouses of oil and oil products. Fire safety requirements : издание официальное : утвержден приказом МЧС России от 26 декабря 2013 г. № 837 : введен впервые : дата введения 2014-01-01 / разработан Всероссийским орденом «Знак Почета» научно-исследовательским институтом противопожарной обороны МЧС России (ВНИИПО), обществом с ограниченной ответственностью «ПОЖОБОРОНПРОМ», закрытым акционерным обществом «АРТСОК», обществом с ограниченной ответственностью «Каланча». – Москва : МЧС России, 2014. – 42 с. – Текст : непосредственный
- ГОСТ Р 53324-2009. Ограждения резервуаров. Требования пожарной безопасности = Diking of storage tanks. Fire safety requirements : национальный стандарт Российской Федерации : издание официальное : утвержден Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 февраля 2009 г. № 100-ст. : введен впервые : дата введения 2009-02-08 / разработан Всероссийским орденом «Знак Почета» научно-исследовательским институтом противопожарной обороны (ВНИИПО). – Москва : Стандартинформ, 2009. – 11 с. – Текст : непосредственный
- СП 127.13330.2017. Полигоны по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов. Основные положения по проектированию = Landfills for the disposal and burial of toxic industrial wastes. Basic provisions on design : издание официальное : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 14 ноября 2017 г. № 1533/пр : актуализированная редакция СНиП 2.01.28-85 : введен в действие с 15 мая 2018 г. : дата введения 2018-05-15 / исполнители АО «ЦНС». – Москва : Стандартинформ, 2017. – 30 с. – Текст : непосредственный.
- Пектемиров, Г. А. Справочник инженера и техника нефтебаз / Г. А. Пектемиров. – Москва : Государственное научно-техническое издательство нефтяной и горно-топливной литературы, 1962. – 325 с. – Текст : непосредственный.
- Шишкин, Г. В. Справочник по проектированию нефтебаз / Г. В. Шишкин. – Москва : Недра, 1978. – 216 с. – Текст : непосредственный.
- Мацкин, Л. А. Эксплуатация нефтебаз / Л. А. Мацкин, И. Л. Черняк, М. С. Илембитов. – 3-е изд. – Москва : Недра, 1975. – 392 с. – Текст : непосредственный.
- Грознов, Г. А. Строительство нефтебаз и автозаправочных станций / Г. А. Грознов. – Москва : Недра, 1980. – 77 с. – Текст : непосредственный.
- Алексеев, С. В. Обустройство резервуарных парков : монография / С. В. Алексеев, В. А. Алексеев, С. И. Поникаров ; Министерство образования и науки РФ, Казанский государственный технологический университет. – Казань : КГТУ, 2010. – 97 с. – ISBN 978-5-7882-1008-7. – Текст : непосредственный.



9. Иванов, Н. Д. Эксплуатационные и аварийные потери нефтепродуктов и борьба с ними / Н. Д. Иванов. – Москва : Недра, 1973. – Текст : непосредственный.
10. Борьба с потерями нефти и нефтепродуктов при их транспортировке и хранении / Ф. Ф. Абузова, И. С. Бронштейн, В. Ф. Новоселов [и др.]. – Москва : Недра, 1981. – 248 с. – Текст : непосредственный.
11. Sengupta, A. Engineering layout of fuel tanks in a tank farm / A. Sengupta, A. Gupta, I. Mishra. – Текст : непосредственный // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2011. – Volume 24, issue 5. – P. 568–574.
12. Yi-fei, M. Preliminary Study on Safety Performance Evaluation of Petrochemical Plant Layout / M. Yi-fei, Z. Dongfeng, Z. Zhi-qiang. – Текст : непосредственный // Procedia Engineering. – 2013. – Volume 52. – P. 277–283.
13. Research on the relationship between causal factors and consequences of incidents occurred in tank farm using ordinal logistic regression / X. Wua, L. Houa, Y. Wena [et al.]. – Текст : непосредственный // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2019. – Volume 61. – P. 287–297.
14. Nabavi, S. R. Optimization of Facility Layout of Tank farms using Genetic Algorithm and Fireball Scenario / S. R. Nabavi, A. H. Taghipour, A. Mohammadpour Gorji. – Текст : непосредственный // Chemical Product and Process Modeling. – 2015. – Volume 18. – P. 12–22.
15. Study of optimal layout based on integrated probabilistic framework (IPF): Case of a crude oil tank farm / M. Zhang, Z. Dou, L. Liu [et al.]. – Текст : непосредственный // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 2017. – Volume 48. – P. 305–311.
16. Мазур, В. А. Влияние компоновки зоны хранения в резервуарных парках на выбор конструктивно-технологического решения устройства защитного барьера / В. А. Мазур, А. В. Крупенченко, В. О. Киселева. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2019. – Выпуск 2019-6(140) Технология, организация, механизация и геодезическое обеспечение строительства. – С. 34–39. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42982124> (дата обращения: 30.04.2022).

Получена 02.11.2022

Принята 25.11.2022

В. О. МАЗУР, В. О. КИСЕЛЬОВА  
ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ РІШЕНЬ ПІДЛОГ КАРЕ НА ТЕХНІКО-  
ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ З УРАХУВАННЯМ ЄМНОСТІ РЕЗЕРВУАРНИХ  
ПАРКІВ  
ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

**Анотація.** Встановлено, що в практиці вітчизняного проектування відсутні норми і рекомендації щодо влаштування підлог і огорожі каре резервуарних парків, що призводить не тільки до збільшення вартості їх влаштування, але і до серйозних екологічних забруднень у разі протікання банки-танкера. Складність вибору раціонального конструктивного рішення підлог каре резервуарних парків пов'язана не тільки з вимогами промислової, пожежної та технологічної безпеки, але і з компонованням самого резервуарного парку, що залежить від ємності і розташування окремих банок-танкерів та інших факторів. У роботі виконано ранжування факторів для визначення найбільш важливих. Для відібраних факторів отримані рівняння регресії, що дозволяють прогнозувати трудомісткість і вартість робіт з влаштування підлог каре, урахуваючи обсяг резервуарного парку і конструктивного рішення підлоги. Обґрунтовано необхідність подальших досліджень.

**Ключові слова:** резервуарний парк, підлога каре, конструктивне рішення, місткість резервуарного парку, технико-економічні показники.

VICTORIA MAZUR, VICTORIA KISELYOVA  
THE INFLUENCE OF THE CONSTRUCTION SOLUTIONS OF THE STORAGE  
TANK FARM SQUARE FLOORS ON THE TECHNICAL-ECONOMIC VALUES OF  
THEIR INSTALLATION, TAKING INTO ACCOUNT THE CAPACITY OF THE  
TANK FARMS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

**Abstract.** It is established that in the practice of domestic design there are no regulations and recommendations for the installation of floors and enclosure of tank farms, which leads not only to an increase in the cost of their installation, but also to serious environmental pollution in case of a tanker can leak. The complexity of the selection of a rational construction solution for the storage tank farm square floors is associated not only with the requirements of industrial, fire and process safety, but also with the layout of the tank farm itself, depending on the capacity and location of individual tanker cans and other factors. In the work, the factors were ranked to determine the most important ones. Regression equations

were obtained for the selected factors, which allow predicting the labor intensity and cost of work on the installation of storage tank farm square floors, taking into account the volume of the tank farm and the constructive solution of the floor. The necessity of further research is substantiated.

**Key words:** tank farm, storage tank farm square floor, construction solution, tank farm capacity, technical-economic values.

**Мазур Виктория Александровна** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии и организации строительства ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: совершенствование конструктивно-технологических решений по устройству и капитальному ремонту ограждающих конструкций зданий и сооружений.

**Киселёва Виктория Олеговна** – аспирант кафедры технологии и организации строительства ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: конструктивно-технологические решения по устройству изоляции и защитных барьеров зданий и сооружений.

**Мазур Вікторія Олександрівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технології та організації будівництва ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: вдосконалення конструктивно-технологічних рішень щодо влаштування і капітальному ремонту огорожувальних конструкцій будівель і споруд.

**Кисельова Вікторія Олегівна** – аспірант кафедри технології та організації будівництва ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: конструктивно-технологічні рішення щодо влаштування ізоляції і захисних бар'єрів будівель і споруд.

**Mazur Victoria** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Technology and Management in Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: improvement of structural and technological solutions for the installation and overhaul of enclosing structures of buildings and structures.

**Kiselyova Victoria** – a post-graduate student, Technology and Management in Construction Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: structural and technological solutions for insulation and protective barriers of buildings and structures.