

Національний університет цивільного захисту України
Державна служба України з надзвичайних ситуацій

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

Оразбаєв Алішер Рахімжанович

УДК 614.8

ДИСЕРТАЦІЯ

**ЗНИЖЕННЯ ПОЖЕЖОВИБУХОНЕБЕЗПЕКИ
ПРОЦЕСУ ЗАВАНТАЖЕННЯ В РЕЗЕРВУАРИ
ГОРЮЧИХ ТА ЛЕГКОЗАЙМИСТИХ РЕЧОВИН**

21.06.02 – Пожежна безпека

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

_____ А.Р. Оразбаєв

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент Горових Ольга
Геннадіївна

Харків – 2019

АНОТАЦІЯ

Оразбаєв А.Р. Зниження пожежовибухонебезпеки процесу завантаження в резервуари горючих та легкозаймистих речовин. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 21.06.02 «Пожежна безпека» (261 – Пожежна безпека). – Національний університет цивільного захисту України, ДСНС України, Харків, 2019.

Дисертація присвячена зниженню пожежовибухонебезпеки процесу завантаження в резервуари горючих і легкозаймистих речовин за рахунок застосування приймально-роздавального пристрою, що дозволяє зменшити до безпечних величин заряд на поверхні ВВДР (вуглеводневої діелектричної рідини).

У вступі обґрунтовано актуальність теми роботи, сформульовано мету, задачі дослідження.

Метою дисертаційної роботи є зниження пожежовибухонебезпеки процесу завантаження в резервуари горючих і легкозаймистих речовин за рахунок застосування приймально-роздавального пристрою, що дозволяє зменшити до безпечних величин заряд на поверхні ВВДР, що завантажують.

Відповідно до поставленої мети дисертаційної роботи сформульовано наступні задачі дослідження:

1. Провести аналіз способів, що забезпечують підвищення пожежовибухонебезпеки при проведенні технологічних процесів завантаження горючих рідин (ГР) і легкозаймистих рідин (ЛЗР) у резервуари;

2. Обґрунтувати показник (критерій) зниження пожежовибухонебезпеки процесу завантаження в резервуари горючих і

легкозаймистих речовин;

3. Провести моделювання процесу заповнення ГР і ЛЗР резервуарів;

4. Розробити завантажувальний пристрій, що дозволяє підвищити пожежовибухобезпеку операції наповнення резервуарів ГР та ЛЗР шляхом зниження додатково генерованого ЕЗ;

5. Провести комплекс експериментальних досліджень із визначення напруженості електростатичного поля, сформованого на поверхні приймального резервуара

6. Отримати оцінки ефективності використання розробленого завантажувального пристрою.

Об'єкт дослідження - пожежовибухобезпека об'єктів зберігання ГР і ЛЗР, що обумовлена виникненням розрядів статичної електрики в паровому просторі резервуара при надходженні до нього горючих рідин.

Предмет дослідження - процеси утворення і релаксації ЕЗ, що визначають пожежовибухобезпеку при завантаженні горючих рідин у резервуари.

У першому розділі проведено аналіз даних про пожежі, що виникають при заповненні резервуарів горючими рідинами від розрядів статичної електрики, які мали місце в різних країнах. Прокласифіковані причини та способи попередження пожеж та вибухів. Проаналізовано нормативну базу.

Розглянуто методи, які використовуються для запобігання виникнення пожеж та вибухів від статичної електрики при заповненні резервуарів ГР і ЛЗР. Наведено дані про пожежі, які виникають при заповненні резервуарів ГР від розрядів статичної електрики, що мали місце в різних країнах.

Наведено дані про дослідження в області електризації вуглеводневих діелектричних рідин, які здійснювалися, в основному, для процесів, що протікають при русі діелектричних рідин по трубопроводу, і способам та методам, які дозволяють знизити електростатичний заряд, внесений у резервуар потоком рідини. Невелика кількість робіт належить до процесів, що протікають безпосередньо в ємностях при їх заповненні та спорожненні, однак установку та дослідження саме в області електризації безпосередньо в резервуарах при їх заповненні - відсутні.

Показано, що уявлення, які склалися на сьогоднішній день про причини вибухів і пожеж при операціях наливання палива в цистерни, вимагають істотних доповнень і уточнень, в тому числі, кількісних оцінок основних фізичних процесів, що протікають при надходженні рідини в ємності різної конфігурації.

На підставі аналізу опублікованих на цей момент робіт в області електризації нафти і нафтопродуктів можна зробити висновок, що в даний час актуальними проблемами при операціях з нафтопродуктами для запобігання пожеж і вибухів є: накопичення експериментальних даних про величину поверхневого ЕЗ і його розподіл при заповненні резервуарів; використання комп'ютерних програмних комплексів для підвищення надійності інформації про рух рідини при завантаженні резервуара і розподілі внесеного з рідиною електростатичного заряду; розробка методів, що дозволяють знизити величину поверхневого ЕЗ у резервуарах різного типу.

Запропоновано в якості критерію пожежовибухонебезпеки процесу завантаження в резервуари горючих і легкозаймистих речовин приймати час релаксації електричного заряду.

Сформульовано задачі дослідження.

У другому розділі наведено результати моделювання руху ВВДР, який виникає при завантаженні рідини в резервуар. Для визначення величини електризації вуглеводневих рідин при потраплянні до резервуару, необхідно було провести розрахунок гідродинамічних характеристик турбулентної течії, викликаной циркуляцією нафтопродуктів у вертикальному циліндричному резервуарі при його заповненні.

Математичний опис турбулентного руху ґрунтується на рівняннях нерозривності і рівнянні руху в'язкої нестисливої рідини - рівнянні Нав'є-Стокса.

Проведено моделювання процесу заповнення резервуарів ГР і ЛЗР та встановлено, що, у разі частково заповненого резервуара, при заповненні, там протікають процеси завихрення, краплеутворення, хвилеутворення і натікання на стінки резервуара і, чим менше висота рівня рідини (заповнення) резервуара, тим інтенсивніше відбуваються дані процеси, причому величина збурень зменшується зі збільшенням маси і, відповідно, інерційності системи при гідравлічному тиску і ударі.

Показано, що шар рідини, що піднімається при завантаженні змиває, захоплює заряди аналогічно процесам, що протікають всередині трубопроводу, і виносить наявний на стінках резервуара заряд на поверхню рідини, що викликає збільшення величини ЕЗ.

Встановлено, що при завантаженні діелектричних рідин у резервуар відбувається не послідовне, ламінарне заповнення рідиною шару за шаром, а йде хвилеподібний, з різними швидкостями рух окремих елементарних потоків рідини одна відносно іншої. При цьому швидкості можуть відрізнятися більше, ніж на 200%.

Аналіз отриманих за допомогою програмного комплексу FlowVision картин поведінки рідини при завантаженні показав механізм впливу швидкості надходження рідини на величину ЕЗ. Зі збільшенням швидкості

надходження нафтопродуктів і, відповідно, поділу подвійного електричного шару, на більшій поверхні зростає величина заряду, який виноситься на поверхню рідини.

У **третьому розділі** представлено результати теоретичного розрахунку величини ЕЗ, який може утворитися у ВВДР.

Запропоновано аналітичну модель для розрахунку часу релаксації, внесеного з потоком ВВДР ЕЗ, із урахуванням змінної площі контакту ВВДР із поверхнею резервуара, а також швидкості релаксації носіїв ЕЗ (іонна та катафорична провідність) та встановлено їх розбіжність більше, ніж на 50%.

Визначено величини діаметра і заряду окремих крапель вуглеводневої рідини, при перевищенні яких можливе виникнення іскрового розряду між окремими зарядженими краплями або краплею і стінкою резервуара, який призведе до займання парів вуглеводневої рідини при проведенні завантажувальних операцій. Величина заряду для отримання розряду потужності - не менше 0,28 мДж, для крапель різного розміру становить від $2,49 \cdot 10^{-11}$ Кл (для краплі радіусом 0,01 мкм) до $2,49 \cdot 10^{-8}$ Кл (для краплі радіусом 10 мм).

Запропоновано приймально-роздавальний пристрій, який забезпечує перебування струменя, що надходить в резервуар ВВДР в затопленому стані, протягом часу, достатнього для релаксації катафоричного ЕЗ внесеного в резервуар з потоком рідини, і перешкоджає утворенню додаткового ЕЗ шляхом зниження турбулентності потоку і дозволяє зменшити формування на поверхні завантажуваної в резервуар рідини ЕЗ до безпечних величин.

У лабораторних умовах встановлено, що використання ПРП зменшує напруження над поверхнею на величину від 58% до 97%, що, відповідно, свідчить про значну ефективність запропонованого ПРП.

У четвертому розділі наведено результати теоретичних розрахунків та експериментального дослідження процесу електризації ВВДР при наповненні резервуарів.

Експериментальне дослідження пожежонебезпеки процесу наповнення резервуарів нафтопродуктами показало, що наявність заземлення призводить до зменшення часу релаксації в кілька разів та величини максимального заряду більше ніж у 10 разів.

Розроблена лабораторна установка, що дозволяє визначати величину напруженості поля поверхневого заряду і його зміну з часом, а також визначати величину додаткового заряду, що утворюється в рідині при завантаженні її в резервуар.

Розроблено технічне рішення пристрою, який сигналізує про накопичення критичної величини ЕЗ на поверхні ГР, яка служить інформацією обслуговуючому персоналу для прийняття превентивних заходів.

Результати полігонних експериментальних досліджень завантажувального пристрою показали, що напруженість електростатичного поля, сформованого на поверхні приймального резервуара, в 20 разів менше при використанні розробленого завантажувального пристрою, і загальний заряд, відведений зі струмом витоку, в середньому, в 300 разів менше, ніж заряд, відведений від резервуара, що не має завантажувального пристрою.

Показано, що при релаксації ЕЗ у заповненому резервуарі завжди залишається об'ємний ЕЗ, який тривалий час (більше 400 с) не досягає нульового значення, що створює небезпеку його перерозподілу з виникненням критичних значень при випадковому накладенні зовнішніх електромагнітних полів.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані в роботі

результати теоретичних та експериментальних досліджень щодо зниження пожежовибухонебезпеки процесу завантаження в резервуари горючих і легкозаймистих речовин дозволяють зменшити до безпечних величин електричний заряд на поверхні ВВДР, що завантажуються.

Результати роботи, а саме: експериментальні дослідження з накопичення додаткового ЕЗ на резервуарному обладнанні – використані Науково-дослідним інститутом пожежної безпеки об'єктів нафтогазового сектора Республіки Казахстан при розробці рекомендацій щодо підвищення рівня пожежної безпеки об'єктів нафтогазового сектора Республіки Казахстан.

Матеріали дисертації впроваджені в освітній процес Кокшетауського технічного інституту Комітету з надзвичайних ситуацій Міністерства внутрішніх справ Республіки Казахстан та Національного університету цивільного захисту України.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в зниженні пожежовибухонебезпеки процесу завантаження в резервуари горючих та легкозаймистих речовин, а саме:

1. вперше запропоновано аналітичну модель для розрахунку часу релаксації, внесеного з потоком ВВДР ЕЗ, із урахуванням змінної площі контакту ВВДР із поверхнею резервуара, а також швидкості релаксації носіїв ЕЗ (іонна та катафорична провідність);

2. вперше отримані експериментальні дані про величину ЕЗ, що утворюється в резервуарі при надходженні до нього ВВДР;

3. подальшого розвитку набуло використання приймально-роздавальних пристроїв, що забезпечують перебування струменя, який надходить у резервуар ВВДР у затопленому стані, протягом часу, який є достатнім для релаксації ЕЗ, внесеного в резервуар з потоком рідини;

4. подальшого розвитку набуло забезпечення

пожежовибухонебезпеки резервуарів, яке полягає в запобіганні виносу на поверхню рідини електростатичного заряду, що утворюється при поділі подвійного електричного шару ВВДР, який знаходиться на поверхні стінок резервуара, і розділяється, піднімаючись по стінках потоком ВВДР, що завантажується.

Ключові слова: пожежовибухонебезпека, резервуар, електростатичний заряд, носії заряду, вуглеводнева діелектрична рідина, час релаксації електростатичного заряду.

ABSTRACT

Orazbaiev A.R. Reducing the fire and explosion hazard of the process of loading combustible and flammable substances into tanks. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Thesis in support of candidature for the obtainment of Candidate of Technical Sciences Degree (Doctor of Philosophy) in the specialty 21.06.02 "Fire Safety" (261 – Fire Safety). – National University of Civil Defence of Ukraine, State Emergency Service of Ukraine, Kharkiv, 2019.

The dissertation is devoted to the reduction of fire and explosion hazard of the process of loading combustible and flammable substances into tanks by using a receiving and distributing device that allows to reduce to safe values the charge on the surface of a hydrocarbon dielectric liquid (HCDL).

The introduction substantiates the relevance of the topic, formulated the purpose and objectives of the study.

The purpose of the dissertation is to reduce the fire and explosion hazard of the process of loading combustible and flammable substances into tanks by using a receiving and distributing device that allows to reduce to safe values the charge on the surface of the HCDL that is loaded.

According to the goal of the dissertation the following research objectives are formulated:

1. To carry out the analysis of the ways providing increase of fire and explosion safety at carrying out technological processes of loading of combustible liquids (CL) and flammable liquids (FL) in tanks;
2. To justify the indicator (criterion) reduction of fire and explosion hazard of the process of loading combustible and flammable substances into tanks;
3. To carry out modeling of process of filling the CL and FL tanks;
4. To develop a loading device that allows to increase the fire and explosion safety of the operation of filling the CL and FL tanks, by reducing the additionally generated electrostatic charge;
5. Conduct a set of experimental studies to determine the intensity of the electrostatic field formed on the surface of the receiving tank
6. Get estimates of the efficiency of the developed boot device.

Object of research – fire and explosion safety of objects of storage of CL and FL, is caused by emergence of discharges of static electricity in steam space of the tank at receipt in it of combustible liquids.

The subject of the study is the processes of formation and relaxation of electrostatic charge, determining fire and explosion safety when loading combustible liquids into tanks.

In the first chapter the analysis of data on the fires arising at filling of tanks with combustible liquids from discharges of static electricity which took place in different countries is carried out. The causes and methods of fire and explosion prevention are classified. The regulatory framework is analyzed.

The methods used to prevent the occurrence of fires and explosions from static electricity when filling the tanks of CL and FL are considered. Presented

data on fires occurring during filling the CL tanks from static electricity discharges, which took place in different countries.

The data on research in the field of electrification of hydrocarbon dielectric liquids, which were carried out mainly for the processes occurring during the movement of dielectric liquids through the pipeline, and ways and methods that reduce the electrostatic charge introduced into the tank by the liquid flow, are presented. A small amount of work relates to the processes occurring directly in the tanks when they are filled and emptied, but there are no installations and studies in the field of electrification directly in the tanks when they are filled.

It is shown that the ideas that have developed to date about the causes of explosions and fires during fuel filling operations in tanks require significant additions and clarifications, including quantitative estimates of the main physical processes occurring when the liquid enters the tanks of different configurations.

Based on the analysis of currently published works in the field of electrification of oil and oil products it can be concluded that actual problems in operations with oil products for the prevention of fires and explosions are: accumulation of experimental data on the surface electrostatic charge and its distribution when filling tanks; use software systems to improve the reliability of the information about the motion of the fluid in the load tank and the distribution of the introduced fluid electrostatic charge; development of methods to reduce the value of the surface electrostatic charge in tanks of various types.

It is proposed to take the relaxation time of electrostatic charge as a criterion of fire and explosion hazard of the process of loading combustible and flammable substances into tanks.

The objectives of the study are formulated.

The second chapter presents the results of modeling the motion of HCDL that occurs when the liquid is loaded into the tank. To determine the value of the electrification of hydrocarbon liquids when entering the tank, it is necessary to calculate the hydrodynamic characteristics of the turbulent flow caused by the circulation of petroleum products in a vertical cylindrical tank when it is filled.

The mathematical description of turbulent motion is based on the continuity equations and the equation of motion of a viscous incompressible fluid – the Navier-Stokes equation.

The simulation of the filling process of CL and FL in the tanks and found that in the case of a partially filled tank, when filling, there are processes of turbulence, drop formation, wave formation and flow on the walls of the tank and, the lower the height of the liquid level (filling) of the tank, the more intense these processes occur, and the magnitude of the disturbances decreases with increasing mass and, accordingly, the inertia of the system under hydraulic pressure and impact.

It is shown that when loading, the rising layer of the CL during its loading washes away, captures charges similar to the processes occurring inside the pipeline, and carries the charge on the walls of the tank to the surface of the liquid causing an increase in the value of the electrostatic charge.

It is established that when dielectric liquids are loaded into the tank, there is an inconsistent laminar filling layer by layer with liquid, and there is a wavy, with different speeds, movement of individual elementary fluid flows relative to each other. In this case, the speed may differ by more than 200%.

An analysis of the patterns of fluid behavior obtained by using the FlowVision software package during loading showed the mechanism of the influence of the fluid intake rate on the value of the electrostatic charge. With an increase in the rate of receipt of petroleum products and, accordingly, separation

of the double electric layer on a larger surface, the charge increases and is carried to the surface of the liquid.

The third chapter presents the results of the theoretical calculation of the value of the electrostatic charge, which can be formed in the HCDL.

The proposed analytical model to calculate the relaxation time introduced with the HCDL flow electrostatic charge, with variable HCDL contact area with the surface of the tank, and the speed of relaxation of electrostatic charge carriers (ion and cataphoric conductivity) and their divergence more than 50%.

The sizes of diameter and charge of separate drops of a hydrocarbon liquid at which excess occurrence of a spark discharge between separate charged drops or a drop and a tank wall which will lead to ignition of vapors of a hydrocarbon liquid at carrying out loading operations is possible are defined. The charge value for obtaining a power discharge is not less than 0.28 MJ, for drops of different sizes is from $2.49 \cdot 10^{-11}$ KL (for a drop with a radius of 0.01 microns) to $2.49 \cdot 10^{-8}$ KL (for a drop with a radius of 10 mm).

The proposed receiving and distributing device which ensures the presence of the jet flowing into the HCDL tank in the flooded condition in sufficient time for relaxation cataphoric electrostatic charge is brought in a tank of fluid flow and prevents the formation of an additional electrostatic charge, by reducing the turbulence of the flow and reduces the formation on the surface of the liquid loaded into the tank of the electrostatic charge to safe values.

Under laboratory conditions, it was found that the use of PRP reduces the stress above the surface by an amount from 58% to 97%, which respectively indicates a significant efficiency of the proposed PRP.

The fourth chapter presents the results of theoretical calculations and experimental studies of the process of electrification of HCDL when filling tanks.

An experimental study of the fire hazard of the process of filling tanks with oil products showed that the presence of grounding reduces the relaxation time by several times and the maximum charge by more than 10 times.

The developed laboratory setup, which allows determining the magnitude of the surface charge field strength and its change over time, as well as determining the amount of additional charge generated in the liquid when it is loaded into the tank.

The technical solution of the device signals the accumulation of a critical value of the electrostatic charge on the surface of the CL, which serves as information to the service personnel to take preventive measures.

The results of polygon experimental studies of the loading device showed that the electrostatic field strength formed on the surface of the receiving tank is 20 times less when using the developed loading device, and the total charge taken away with the leakage current is on average 300 times less than the charge taken away from the tank does not have a loading device.

It is shown that during relaxation, the electrostatic charge in the filled tank always remains a volumetric electrostatic charge, for a long time (more than 400 s) does not reach zero, creates the danger of its redistribution with the emergence of critical values with the accidental imposition of external electromagnetic fields.

Practical significance of the results. The results of theoretical and experimental studies to reduce the fire and explosion hazard of the process of loading combustible and flammable substances into tanks allow to reduce to safe values the electrostatic charge on the surface of the HCDL that is loaded.

The results of the work, namely: experimental studies on the accumulation of additional electrostatic charge on tank equipment-used by the Research Institute of Fire Safety of Oil and Gas Sector of the Republic of Kazakhstan in the development of recommendations to improve the level of fire safety of oil and gas sector of the Republic of Kazakhstan.

Materials of the dissertation are introduced into educational process of Kokshetau Technical Institute of Committee on Emergency Situations of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan and National University of Civil Protection of Ukraine.

The scientific novelty of the results obtained is to reduce the fire and explosion hazard of the process of loading combustible and flammable substances into tanks, namely:

5. first proposed an analytical model to calculate the relaxation time, introduced with the HCDL flow electrostatic charge, with variable HCDL contact area with the surface of the tank, and the speed of relaxation of electrical charge carriers (ionic and cataphoric conductivity)

6. for the first time, experimental data on the magnitude of the electrostatic charge formed in the tank when the HCDL enters it are obtained;

7. further development was the use of receiving and distributing devices that ensure the presence of the jet, which enters the HCDL tank in a flooded state for a time that is sufficient for relaxation of the electrostatic charge introduced into the tank with the flow of liquid;

8. further development has been the provision of fire and inflammation of the tanks, which is to prevent the removal of the liquid surface of the electrostatic charge produced during the separation of the electric double layer of HCDL, which is on the surface of the container walls, and is divided, up the walls of the HCDL flow that is loaded.

Keywords: Fire and explosion hazard, tank, electrostatic charge, charge carriers, hydrocarbon dielectric liquid, electrostatic charge relaxation time.

Список публікацій здобувача

Статті у міжнародних фахових виданнях

1. Горових О.Г., Оразбаєв А.Р. Питання наукового обґрунтування причин вибухів і пожеж на нафтосховищах. Вісник Кокшетауського технічного інституту МНС Республіки Казахстан. 2012. № 4. С. 39-42.
2. Оразбаєв А.Р., Горових О.Г. Визначення константи часу релаксації електростатичного заряду в діелектричних рідинах. Пр. молодих вчених Владикавк. наук. центру Рос. акад. наук. 2014. Т. 14. № 1. С. 26-39.
3. Оразбаєв А.Р., Горових О.Г. Експериментальне визначення часу релаксації поверхневого заряду в діелектричних рідинах. Вісник Кокшетауського технічного інституту МНС Республіки Казахстан. 2014. № 1. С. 25-31.
4. Горових О.Г., Оразбаєв А.Р. Механізм електризації вуглеводневої рідини при заповненні нею резервуарів вертикального типу. Надзвичайні ситуації: освіта і наука. 2014. Т. 9. № 2. С. 16-22.
5. Оразбаєв А.Р. Теоретичний аналіз природи виникнення вибухів в резервуарах при наявності в паливі диспергованої води (повітря). Вісник Командно-інженерного ін-ту МНС Респ. Білорусь. 2015. № 2. С. 23-29.
6. Горових О.Г., Оразбаєв А.Р. Визначення часу релаксації об'ємного електростатичного заряду, внесеного в резервуари з надходячою діелектричною вуглеводневою рідиною. Вісник Полоц. держ. ун-ту. Сер. С. фонд. науки. 2015. № 4. С. 66-70.
7. Кондратович О.А., Оразбаєв А.Р. Визначення причини виникнення пожеж при завантаженні нафтопродуктів в резервуари. Надзвичайні ситуації: попередження і ліквідація. 2018. Вип. 1. С.77-82.

Статті у наукових фахових виданнях

8. Оразбаєв А.Р. Попередження утворення джерела запалювання під час завантаження діелектричних вуглеводневих рідин в резервуари

ветрикального типу. Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура. 2019. Вип. 3. С. 175-179.

9. Оразбаєв А.Р. Експериментальне визначення електростатичного заряду на поверхні вуглеводневих діелектричних рідин при їх завантаженні в ємності і забезпечення вимог пожежної електростатичного безпеки. Науковий вісник будівництва. 2019. Вип. 9. Т.2 С. 405-412.

Матеріали науково–практичних конференцій

10. Горових О.Г., Оразбаєв А.Р. Про необхідність подальших досліджень в області наукового обґрунтування причин вибухів і пожеж на нафтосховищах. Актуальні проблеми пожежної безпеки, попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій: Зб. матеріалів III міжнар. наук.-практ. конф., Кокшетау 24 Жовтня. 2012 г. Кокшетаус. техн. ін-т МНС Респ. Казахстан. Кокшетау, 2012. С. 159-164.

11. Оразбаєв А.Р., Кондратович О.А. Рекомендації для рятувальників з безпечних дій при ліквідації аварійного закінчення нафтопродуктів з резервуара. Об'єднання теорії та практики - запорука підвищення боєздатності оперативно-рятувальних підрозділів: Зб. тез. матеріалів Всеукр. наук.-практ. конф., Харків, 21 берез. 2013 р. Нац. ун-т цивіл. захисту України. Харків, 2013. С. 58-59.

12. Горових О.Г., Оразбаєв А.Р. Визначення енергії розряду статичної електрики з падаючої краплею нафтопродукту. Об'єднання теорії та практики - запорука підвищення боєздатності оперативно-рятувальних підрозділів: Зб. тез. матеріалів Всеукр. наук.-практ. конф., Харків, 21 берез. 2013 р. Нац. ун-т цивіл. захисту України. Харків, 2013. С. 286-288.

13. Оразбаєв А.Р., Горових О.Г. Контроль величини статичного заряду при перевалочних роботах з нафтопродуктами. Актуальні проблеми технічних та соціально-гуманітарних наук у забезпеченні діяльності

служби цивільного захисту: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., Черкаси, 4-5 квіт. 2013 р. Акад. пожеж. безпеки. Черкаси, 2013. Ч. 1. С. 51-53.

14. Оразбаєв А.Р., Горових О.Г. Вплив режиму руху потоку діелектричної рідини в резервуарі на небезпеку створення вибухонебезпечної ситуації. Теорія і практика цивільного захисту: матеріали міжвуз. наук.-практ. конф., Кокшетау 20 березня 2014 г. Кокшетаус. техн. ін-т МНС Респ. Казахстан. Кокшетау, 2014. С. 44-50.

15. Горових О.Г., Оразбаєв А.Р. Локальні швидкості руху рідини в початковий момент завантаження нафтопродукту в резервуар. Надзвичайні ситуації: теорія, практика, інновації: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., Гомель, 22-23 травня 2014 г. Гомель. інженер. ін-т МНС Респ. Білорусь. Гомель, 2014. С. 44-45.

16. Оразбаєв А.Р. Пристрій, що перешкоджає утворенню статичного заряду при завантаженні резервуарів. Надзвичайні ситуації: теорія, практика, інновації: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., Гомель, 19-20 травня 2016 г. Гомель. інженер. ін-т МНС Респ. Білорусь. Гомель, 2016. С. 112-113.

Патенти

17. Оразбаєв А.Р. Пристрій для визначення небезпечного рівня електризації нафтопродуктів в резервуарах: пат. на корисну модель KZ 1080 МПК G01R29 / 12 / опубл. 19.02.2014.

18. Оразбаєв А.Р. Вибухобезпечне приймально-роздавальний пристрій для вертикальних резервуарів: пат. на корисну модель KZ 2404: МПК B65D90 / 22 / опубл. 18.09.2017.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	22
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ РЕЗЕРВУАРІВ ІЗ ГОРЮЧИМИ ТА ЛЕГКОЗАЙМИСТИМИ РІДИНАМИ.....	29
1.1. Пожежі на об'єктах зберігання і транспортування нафти і нафтопродуктів, викликані розрядами статичної електрики.....	29
1.2. Зони накопичення електростатичного заряду при поводженні з вуглеводневими діелектричними рідинами в технологічних процесах.....	32
1.3. Аналіз розробки заходів по боротьбі з пожежами від розрядів статичної електрики.....	34
1.4. Аналіз сучасних методів запобігання пожеж і вибухів у резервуарах із нафтопродуктами.....	35
1.4.1. Заземлення трубопроводів і резервуарів.....	35
1.4.2. Режими технологічних процесів, що виключають утворення і накопичення зарядів статичної електрики.....	37
1.4.3. Збільшення провідності діелектричних матеріалів.....	38
1.4.4. Створення негорючого середовища в паровому просторі резервуара.....	40
1.4.5. Використання конструкторських рішень.....	41
1.4.6. Контроль щільності заряду статичної електрики в резервуарі.....	42
1.4.7. Застосування нейтралізаторів статичної електрики.....	43
1.5. Механізм утворення і накопичення електричних зарядів в вуглеводневих рідинах.....	45
1.6. Аналіз експериментальних робіт в області електростатичних процесів у резервуарах з нафтопродуктами.....	46
1.7. Дослідження умов виникнення пожежі та вибуху у резервуарах з ГР.....	49

1.8. Задачі дослідження	52
1.9. Висновки	53
РОЗДІЛ 2. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗАПОВНЕННЯ РЕЗЕРВУАРІВ ГОРЮЧИМИ ТА ЛЕГКОЗАЙМИСТИМИ РІДИНАМИ.....	55
2.1. Математична модель руху рідини при заповненні циліндричних резервуарів вертикального типу.....	56
2.2. Моделювання руху рідини при заповненні циліндричних резервуарів вертикального типу.....	58
2.2.1. Вихідні параметри для моделювання.....	59
2.3. Аналіз розподілу рідини при завантаженні в резервуари вертикального типу.....	63
2.4. Аналіз розподілу швидкостей та тиску в резервуарі при завантаженні в резервуари вертикального типу.....	69
2.5. Висновки.....	72
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ВІД РОЗРЯДІВ СТАТИЧНОЇ ЕЛЕКТРИКИ ПРИ НАПОВНЕННІ РЕЗЕРВУАРІВ	74
3.1. Залежність величини електростатичного заряду на поверхні горючої рідини від часу знаходження потоку в об'ємі рідини.....	75
3.2. Аналіз можливості займання парів вуглеводневої рідини електростатичною іскрою від зарядженої краплі.....	78
3.3. Оцінка часу релаксації.....	83
3.4. Розробка приймально-роздавального пристрою для вертикальних резервуарів.....	91
3.5. Дослідження ефективності лабораторної моделі ПРП.....	95
3.6. Висновки.....	97
РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ РЕЗЕРВУАРІВ ПРИ ЇХ НАПОВНЕННІ ВІД РОЗРЯДІВ СТАТИЧНОЇ ЕЛЕКТРИКИ	99

4.1. Експериментальне дослідження пожежонебезпеки процесу наповнення резервуарів нафтопродуктами.....	99
4.1.1. Опис конструкції експериментальної лабораторної установки.....	100
4.1.2. Методика проведення лабораторних досліджень	104
4.1.3. Результати дослідження статичної електризації.....	105
4.2 Експериментальне визначення часу релаксації.....	110
4.2.1 Опис конструкції експериментальної лабораторної установки.....	110
4.2.2 Визначення часу релаксації іонів всіх видів.....	115
4.3. Розробка пристрою, що сигналізує про накопичення ЕЗ на поверхні НП.....	117
4.3.1. Схема пристрою, що сигналізує про накопичення ЕЗ на поверхні НП.....	118
4.4. Оцінка впливу на пожежну небезпеку резервуарів розробленого ПРП.....	122
4.4.1. Полігонні випробування ПРП, що знижує утворення поверхневого електростатичного заряду.....	123
4.5. Висновки	127
ВИСНОВКИ.....	129
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	131
ДОДАТОК.....	152

ВСТУП

Актуальність теми. Пожежі і вибухи в резервуарах нафтобаз та нафтопереробних заводів призводять до загибелі людей, значних матеріальних збитків та можуть впливати на економіку держави та соціально-політичну ситуацію [1-7]. Заповнення цистерн і резервуарів нафтопродуктами є найбільш небезпечною технологічною операцією, в якій розряд статичної електрики (СЕ) досить часто призводить до виникнення пожеж і вибухів [8-12].

Безпосередньо від розрядів СЕ на об'єктах нафтогазової галузі в Казахстані виникло 3 пожежі з 87, які мали місце за період з 2005 року. Постійно фіксується безліч випадків займання вуглеводневих діелектричних рідин (ВВДР) у технологічному обладнанні та автомобілях саме під час виконання технологічних операцій зливання-наливання [9, 13-25].

Дослідження процесів, що протікають при проведенні операцій із наповнення резервуарів ВВДР, є важливим напрямком забезпечення пожежної безпеки. Застосовувані до теперішнього часу заходи щодо попередження накопичення заряду СЕ, які включають заземлення резервуарів і трубопроводів, зниження швидкості руху ВВДР, завантаження рідини під шар нафтопродукту, використання різного роду нейтралізаторів, заповнення парового простору резервуара нейтральними газами та інші заходи, що не забезпечують повного захисту від виникнення електростатичних іскор з потужністю, достатньої для займання пароповітряного середовища.

Розробкою заходів, які забезпечують запобігання виникнення пожеж та вибухів від розрядів статичної електрики, а також теоретичними й експериментальними дослідженнями процесу статичної електризації вуглеводневих діелектричних рідин, займалися такі автори, як: J. Gavis,

I. Koszman, В.В. Захарченко, В.Л. Галка, К.В. Рибаків, Е.Ф. Мажар, Б.К. Максимов, К.Б. Щигловський, А.Е. Путко, С.І. Кицис, О. Stern, Т. Paillat, Е. Moreau, G. Touchard, Л. Трофімов та інші.

Дослідження, які раніше були проведені фахівцями, в основному, стосувалися процесів нейтралізації електростатичного заряду (ЕЗ), внесеного з потоком ВВДР у резервуар, і не в повній мірі враховували електризацію, що виникає безпосередньо при заповненні резервуарів. Тому питання про величину ЕЗ, який додатково утворюється при заповненні резервуарів у паровому просторі резервуара, залишається відкритим.

Тому робота, яка присвячена вивченню процесів, що викликають утворення додаткового ЕЗ у резервуарах при завантаженні ВВДР, і розробці заходів щодо його зменшення, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася на кафедрі пожежної і техногенної безпеки об'єктів та технологій Національного університету цивільного захисту України (НУЦЗ України) у рамках Концепції Державної цільової програми забезпечення пожежної безпеки на 2011–2015 роки, науково-дослідної роботи "Дослідження способів зниження пожежної небезпеки процесів зберігання легкозаймистих та горючих рідин" (держ. реєстраційний номер – 0116U002007), в якій автор брав участь у якості виконавця, та НДР «Проведення досліджень з оцінки та управління ризиками пожежонебезпечних технологічних процесів у нафтогазовій галузі Республіки Казахстан» (№ держ. реєстрації 0111PK00085 від 14.01.14), що проводиться в рамках Республіканської бюджетної програми «Прикладні наукові дослідження в області надзвичайних ситуацій» (Казахстан).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є

зниження пожежовибухонебезпеки процесу завантаження в резервуари горючих і легкозаймистих речовин за рахунок застосування приймально-роздавального пристрою, що дозволяє зменшити до безпечних величин заряд на поверхні ВВДР, яку завантажують.

Відповідно до поставленої мети дисертаційної роботи сформульовано наступні задачі дослідження:

1. провести аналіз способів, що забезпечують підвищення пожежовибухобезпеки при проведенні технологічних процесів завантаження горючих рідин (ГР) і легкозаймистих рідин (ЛЗР) у резервуари;
2. обґрунтувати показник (критерій) зниження пожежовибухонебезпеки процесу завантаження в резервуари горючих і легкозаймистих речовин;
3. провести моделювання процесу заповнення ГР і ЛЗР резервуарів;
4. розробити завантажувальний пристрій, що дозволяє підвищити пожежовибухобезпеку операції наповнення резервуарів ГР та ЛЗР, шляхом зниження додатково генерованого ЕЗ;
5. провести комплекс експериментальних досліджень з визначення напруженості електростатичного поля, сформованого на поверхні приймального резервуара
6. отримати оцінки ефективності використання розробленого завантажувального пристрою.

Об'єкт дослідження - пожежовибухобезпека об'єктів зберігання ГР і ЛЗР, що обумовлена виникненням розрядів статичної електрики в паровому просторі резервуара при надходженні до нього горючих рідин.

Предмет дослідження - процеси утворення і релаксації ЕЗ, що

визначають пожежовибухобезпеку при завантаженні горючих рідин у резервуари.

Методи дослідження. Для досягнення мети і вирішення поставлених задач були використані теоретичні та експериментальні методи досліджень: експериментальні натурні та лабораторні дослідження; теоретичні дослідження руху рідини в резервуарі проводилися за допомогою розв'язання системи диференціальних рівнянь Нав'є-Стокса методом кінцевих елементів; методи математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в зниженні пожежовибухонебезпеки процесу завантаження в резервуари горючих та легкозаймистих речовин, а саме:

- вперше запропоновано аналітичну модель для розрахунку часу релаксації, внесеного з потоком ВВДР ЕЗ, із урахуванням змінної площі контакту ВВДР із поверхнею резервуара, а також швидкості релаксації носіїв ЕЗ (іонна та катафорична провідність);
- вперше отримані експериментальні дані про величину ЕЗ, що утворюється в резервуарі при надходженні до нього ВВДР;
- подальшого розвитку набуло використання приймально-роздавальних пристроїв, що забезпечують перебування струменя, який надходить у резервуар ВВДР у затопленому стані, протягом часу, який є достатнім для релаксації ЕЗ, внесеного в резервуар з потоком рідини;
- подальшого розвитку набуло забезпечення пожежовибухонебезпеки резервуарів, яке полягає в запобіганні виносу на поверхню рідини електростатичного заряду, що утворюється при поділі подвійного електричного шару ВВДР, який знаходиться на поверхні стінок резервуара, і розділяється, піднімаючись по стінках потоком ВВДР, що завантажується.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані в роботі результати теоретичних та експериментальних досліджень щодо зниження пожежовибухонебезпеки процесу завантаження в резервуари горючих і легкозаймистих речовин дозволяють зменшити до безпечних величин електричний заряд на поверхні ВВДР, що завантажуються.

Результати роботи, а саме: експериментальні дослідження з накопичення додаткового ЕЗ на резервуарному обладнанні – використані Науково-дослідним інститутом пожежної безпеки об'єктів нафтогазового сектора Республіки Казахстан при розробці рекомендацій щодо підвищення рівня пожежної безпеки об'єктів нафтогазового сектора Республіки Казахстан (акт від 28.03.2019 р.).

Матеріали дисертації впроваджені в освітній процес Кокшетауського технічного інституту Комітету з надзвичайних ситуацій Міністерства внутрішніх справ Республіки Казахстан (акт від 15.03.2019 р.) та Національного університету цивільного захисту України (акт від 12.03.2019 р.).

Особистий внесок здобувача. Дисертація є самостійною роботою автора. У наукових роботах, опублікованих у співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в наступному: у роботах [36, 24] обґрунтував необхідність досліджень для підвищення пожежної безпеки в резервуарних парках; у роботах [48, 103] автор проаналізував причини виникнення вибухів у резервуарах; у роботі [139] виготовив дослідну лабораторну установку і провів вимірювання величини додаткового ЕЗ, що утворюється на поверхні ВВДР при її завантаженні в резервуар, часу витоку ЕЗ, величини залишкового заряду в резервуарі; у роботі [164] наведено результати експериментальних лабораторних і польових випробувань вибухобезпечного приймально-роздавального пристрою, що дозволяє знизити утворення поверхневого електростатичного заряду,

а також проведено моделювання процесу поведінки потоку рідини з використанням програмного комплексу FlowVision; у роботі [124] автор провів експериментальне визначення електростатичного заряду на поверхні вуглеводневих діелектричних рідин при їх завантаженні в ємності; у роботі [148] провів визначення енергії розряду статичної електрики з падаючої краплі нафтопродукту; у роботі [95] розробив підходи до контролю заряду, що формується в процесі завантаження ГР в резервуари; у роботах [139, 173] проведено контроль величини статичного заряду при проведенні робіт з нафтопродуктами; у роботах [168, 137, 76] провів експериментальні дослідження та отримав залежності, які дозволяють визначити час релаксації ЕЗ, що надходить з ВВДР; у роботі [162] розробив приймально-роздавальний пристрій, що попереджує утворення електростатичного заряду в резервуарі при його завантаженні; у роботах [159, 147] визначено константи часу релаксації ЕЗ в ГР і механізм утворення додаткового електростатичного заряду в резервуарі при його завантаженні; у роботах [172, 161] запатентував розроблений приймально-роздавальний пристрій, що попереджує утворення електростатичного заряду, та пристрій для визначення рівня електризації нафти в нафтопродуктах.

Апробація результатів дисертації. Основні положення й результати роботи доповідалися та обговорювалися на: Всеукраїнській науково-практичній конференції «Об'єднання теорії та практики - запорука підвищення боєздатності оперативно-рятувальних підрозділів» (м. Харків, 2013); Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми технічних та соціально-гуманітарних наук у забезпеченні діяльності служби цивільного захисту» (м. Черкаси, 2013); III і IV Міжнародних науково-практичних конференціях «Актуальні проблеми пожежної безпеки, попередження і ліквідації НС» (м. Кокшетау, 2012 і 2013 рр.); VII

Міжнародній науково-практичній конференції курсантів (студентів), слухачів магістратури та ад'юнктів (аспірантів) «Забезпечення безпеки життєдіяльності: проблеми і перспективи» (м. Мінськ, 2013); Міжнародній конференції молодих вчених «Попередження та ліквідація надзвичайних ситуацій» (м. Мінськ, 2013); Міжнародній науково-практичній конференції «Надзвичайні ситуації: теорія, практика, інновації» (м. Гомель, 2014 і 2016 рр.); Міжвузівській науково-практичній конференції «Теорія і практика цивільного захисту» (м. Кокшетау, 2014).

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковані в 9 наукових статтях, в тому числі, в семи іноземних виданнях, у 7 доповідях на міжнародних і національних наукових конференціях і у двох патентах на корисну модель.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається з анотації, вступу, 4 розділів, загальних висновків, переліку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації становить 159 сторінок машинописного тексту і включає: основну частину обсягом 117 сторінок та список використаних джерел із 176 найменувань. Дисертаційна робота включає 1 додаток, розміщений на 6 сторінках.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ РЕЗЕРВУАРІВ З ГОРЮЧИМИ ТА ЛЕГКОЗАЙМИСТИМИ РІДИНАМИ

1.1. Пожежі на об'єктах зберігання і транспортування нафти і нафтопродуктів, викликані розрядами статичної електрики

Перший випадок вибуху нафти при видобутку з фонтануючих свердловини в Західній Пенсільванії зареєстрований ще в 1861 році, при цьому сталося займання супутніх газів від електростатичного розряду, але на той час здавалося, що це відбулося без очевидних причин [26].

Лише в Тюменській області за останні 25 років спостерігалось 12 аварій у нафтогазовій галузі, причиною яких були прояви СЕ [27].

У [28] констатують, що з 2000 по 2010 роки в США під час заправки на заправних майданчиках сталося 176 пожеж через розряди статичної електрики. У статті [29] також наголошується, що небезпечні наслідки прояву електростатики при поводженні з вуглеводневими рідинами останнім часом стали виникати все частіше, що призводить до збільшення числа зареєстрованих пожеж від електростатичних розрядів в Сполучених Штатах.

За офіційними даними Міністерства громадської безпеки Соціалістичної Республіки В'єтнам за період з 1997 по 2006 роки на АЗС було зареєстровано 779 пожеж, 48,8% з яких пов'язані з проведенням зливальних операцій з автомобільних цистерн у резервуари [30].

У Німеччині було зафіксовано 42 пожежі з вуглеводневими рідинами в період з 1992 по 1995 роки. Фахівці лабораторії Physikalisch Technische Bundesanstalt провели дослідження, які показали, що більшість цих пожеж були викликані запаленням парів бензину статичною електрикою [31].

За період з 2000 по 2015 роки тільки на об'єктах нафтогазової галузі СНД відбулося 3319 випадків пожеж. З них точно встановленої причиною

148 пожеж були розряди статичної електрики [10], при цьому кількість травмованих людей на пожежах від розрядів статичної електрики склала 876 чоловік. Наприклад, 27 березня 2008 року в Махачкалі вибухнув і горів нафтовий резервуар підприємства «Дагнафтопродукт» ємністю 10 тис. тон. У момент загоряння в ємності знаходилося до 6000 тон. Точно встановлена причина пожежі - утворення іскри при заповненні ємності з танкера. 11 червня 2019 року на танкері в Махачкалі стався вибух при перекачуванні палива, можливо, через статичне іскроутворення [32].

У [33] наводиться інформація про пожежу, яка сталася в 2007 році в резервуарі з плаваючим дахом місткістю 12700 м³. Резервуар вибухнув і згорів при заповненні дизельним паливом на терміналі зберігання нафтопродуктів (рис. 1.1). Пожежа тривала 21 годину і пошкодила два прилеглих резервуара. Загальна сума збитку склала більше двох млн. доларів США. Ретельне розслідування інциденту, проведене Національною радою з безпеки на транспорті США (NTSB), виявило, що причини були в неправильній процедурі перемикання вмісту бака з бензину на дизельне паливо і в перевищенні швидкості надходження продукту в резервуар при його заповненні.



Рис. 1.1 - Пожежа в 2007 році на резервуарі з плаваючою дахом (США)

Пожежа і серія вибухів на хімічному заводі Barton Solvents Des Moines, штат Айова, 29 жовтня 2007 року були викликані статичною

електричною іскрою в результаті невірної електричного з'єднання і заземлення під час заповнення сталевих резервуарів – такого висновку дійшла Рада з хімічної безпеки США (CSB) в своєму підсумковому звіті [34].

У 2013 році в Канаді неконтрольовану статичну електрику було визначено як причину багатьох вибухів і пожеж, які зруйнували або пошкодили об'єкти, включаючи ангар для літаків, заправну станцію, компанію з виробництва нафтопродуктів і хімічний завод на нафтовому родовищі [35].

В [12] встановлено, що реальне число аварій на резервуарах в 3-5 разів більше зареєстрованих. Інтенсивність виникнення аварійних ситуацій залишається досить високою і становить за останні 30 років близько 0,0003 руйнувань резервуарів за рік. Аналіз динаміки ризику руйнувань [36] показав, що фактичний ризик аварій на два порядки перевищує нормативне значення і становить $1,6 \cdot 10^{-3}$.

Як зазначено в [37], пожежі з горінням по всій площі великомасштабного резервуара навряд чи можуть бути погашені сучасною пожежною технікою. Максимальний резервуар, горіння якого по всій поверхні було загашено, мав діаметр 34,8 м. Відомо, що гасіння пожеж на великогабаритних РВС (від 10000 м³) є складною і небезпечною задачею [38], обумовленою можливістю ураження особового складу пожежної охорони та персоналу об'єкта небезпечними чинниками (закипання і викид горючої рідини, утворення палаючого потоку при повному руйнуванні РВС). Внаслідок цього не раз приймали рішення не гасити РВС, а вжити всіх заходів тільки щодо запобігання поширення пожежі. При цьому пожежі на великих сховищах нафти і нафтопродуктів мають катастрофічні наслідки, як для сусідніх об'єктів, так і для довкілля [39, 40].

Сьогодні на території країн СНД експлуатується кілька десятків тисяч стаціонарних вертикальних і горизонтальних циліндричних резервуарів, розташованих на території нафтобаз і АЗС. Нафтобази

оснащені горизонтальними резервуарами ємністю від 5 до 50 м³ і вертикальними від 100 м³ до 50000 м³ для зберігання нафти, нафтопродуктів. [41]. У Казахстані налічується приблизно 4 300 АЗС і близько 300 нафтобаз із загальним обсягом понад 1 млн. м³ [42]. Це призводить до зростання продуктивності перекачування й інтенсивності експлуатації резервуарного парку, тому проблема виникнення, накопичення і релаксації статичної електрики при зберіганні і перекачуванні нафтопродуктів виходить на одне з перших місць у системі забезпечення пожежовибухобезпеки.

Типовими пожежами для РВС є пожежі при очищенні і ремонті резервуарів (вони складають 45,3% від загального числа пожеж) від розрядів статичної електрики і складають 15,1% від загальної кількості пожеж [11].

Виходячи з даних про технологічний устрій резервуарів, джерелом запалювання парогазової суміші, яка знаходиться всередині обсягу резервуара, при відсутності там людини, що виконує різні операції, може бути: самозаймання або розряди статичної електрики.

1.2. Зони накопичення електростатичного заряду при поводженні з вуглеводневими діелектричними рідинами в технологічних процесах

Згідно [43-49] у нафтогазовій промисловості існує безліч обладнання та об'єктів, схильних до ризику виникнення пожеж та вибухів, викликаних статичним електричним розрядом.

У першу чергу, це паливні та накопичувальні баки, виготовлені зі сталі або скловолокна. Статичний заряд може накопичуватися в них між поверхнею рідини і стінкою резервуара або металевим фітінгом у неметалевому резервуарі під час наповнення.

Статичні заряди можуть накопичуватися і запалювати залишкове масло і десорбувати гази в баках. Статична електрика може генеруватися,

коли потоки різнорідних речовин, таких як вода, нафта або осад в рідині, зустрічаються, і при цьому відбувається поділ позитивних і негативних зарядів.

При виконанні операції заправки паливом навіть ламінарний спокійний плин легкозаймистих рідин, таких як бензин усередині труби, може формувати заряди статичної електрики. Рідини, такі, як парафін, бензин, толуол, ксилол, дизельне паливо, гас і легка сира нафта, здатні до накопичення та утримання електростатичного заряду при високошвидкісному русі.

У трубопроводах з природним газом тертя, викликане пилом або звуженнями в трубі, може сприяти накопиченню статичної електрики в системах, які використовуються для транспортування природного газу. Коли в трубі сформувався, наприклад, негативний заряд, він буде взаємодіяти з протилежним зарядом, наявним у ґрунті або на іншій зовнішній поверхні. При відкриванні (руйнуванні) труби, заряд, накопичений в трубі, може утворити іскру (дугу) з зарядом, що знаходиться у зовнішньому середовищі - ґрунті тощо.

Особливо виділяють пожежі при так званому перемиканні [33]. Суть терміна полягає в тому, що при зміні вмісту будь-якої ємності (цистерни, автоцистерни, залізничної автоцистерни), можуть утворитися умови щодо займання легкозаймистого середовища. Тому необхідно передбачити ретельне очищення резервуару від попереднього продукту і позбутися від парової фази [33]. Навіть дуже низька швидкість надходження вуглеводневої рідини до резервуару при розвантаженні може сформувати статичний розряд, потужність якого буде достатня для запалення цього легкозаймистої парового простору всередині резервуара. Генерація електростатичного заряду на початкових етапах завантаження обмежується зниженням швидкості завантаження до тих пір, поки не припиниться вся турбулентність у баку.

1.3. Аналіз розробки заходів з боротьби з пожежами від розрядів статичної електрики

Розробкою заходів, що забезпечують запобігання виникнення пожеж та вибухів від розрядів статичної електрики, а також теоретичними і експериментальними дослідженнями процесу статичної електризації вуглеводневих діелектричних рідин, займалися наступні автор: А.А. Бауман [50], Дж. Джейвіс [51], І. Козмай [51], С.А. Бобровський [52], Є.І. Яковлев [52], В.В. Захарченко [53, 54], Н.І. Крячко [53], В.Л. Галка [55], К.В. Рибаків [56], Е.Ф. Мажар [53], Б.К. Максимов [57], А.А. Обух [57], К.Б. Щігловський [55], А.А. Блінов [58], А.Е. Путко [59], С.І. Кіціс [60], Є.П. Власова [27]; О. Stern [61]; Т. Paillat [62], E. Moreau, [63], G. Touchard [62-66], Л. Трофімов [67].

Також одними з ініціаторів систематичного вивчення електризації нафтопродуктів і запобігання пожеж і вибухів, були великі нафтові компанії: «Royal Dutch Shell» і «ExxonMobil», які створили цільові лабораторії для вивчення причин виникнення статичної електрики й удосконалення методів з її ліквідації.

Із постанови Ради Міністрів від 30.05.73 р № 247/11 почалася планомірна робота в області дослідних і дослідно-конструкторських робіт, пов'язаних із електризацією вуглеводневих рідин і способами запобігання пожеж, викликаних цією електризацією [68].

Спонсорами досліджень статичного займання виступили такі організації, як American Gas Асоціація, Міністерство внутрішніх справ США, Гірське бюро, ВПС США і нафтова промисловість [69].

Дослідження пожеж, що сталися в Європі, виявило ряд моментів, які зазнали зміни за останні роки, і їх зміна призвела до збільшення генерації статичної електрики в таких небезпечних розмірах, що призвело до виникнення цих пожеж [70]. Широке застосування в промисловості матеріалів з високим питомим об'ємним електричним опором ($\rho_v \approx 10^{12}$

Ом·м) і питомою поверхневим електричним опором ($\rho_s \approx 10^{12}$ Ом) сприяло генерації зарядів статичної електрики на різних вузлах конструкцій і підвищення ймовірності виникнення пожеж від розрядів статичної електрики [71].

1.4. Аналіз сучасних методів запобігання пожеж і вибухів в резервуарах з нафтопродуктами

1.4.1. Заземлення трубопроводів і резервуарів

Вважається, що захист резервуарів від статичної електрики досягається, перш за все, його заземленням. Тому в усіх нормативних правових актах [16-25, 72-75], в обов'язковому порядку передбачено влаштування заземлення резервуарів і визначається кількість точок заземлення і відстань між ними. Однак хочеться зазначити той факт, що відповідно до [21, 16], опір заземлювального пристрою, призначеного виключно для захисту від статичної електрики, не має перевищувати 100 Ом.

У той самий час як нормативні документи [73, 74] пропонують використовувати опір заземлювального пристрою 1 Ом і менше, в [75] йде мова, що «Опору заземлення, що не перевищує 1 Ом, зазвичай досить, щоб запобігти накопиченню небезпечних статичних зарядів, але більш низький опір необхідно, коли використовуються чутливі і нестабільні хімічні речовини».

Із рекомендацій [73, 74] випливає, що можна застосовувати заземлення з опором 10 Ом, але при цьому уточнюється, що це максимальний опір, рекомендований для обладнання, схильного до ризику електростатичного заряду в атмосферах HAZLOC. У [74] робиться ще один крок: рекомендується використовувати опір 1 Ом, і тільки в тому випадку, якщо використовується система заземлення з сигнальними лампами, то

можливо, використовувати заземлення до 10 Ом. Це пов'язано з тим, що система заземлення постійно контролює величину опору в ланцюзі заземлення, тому, якщо воно піднімається вище 10 Ом, йде сигнал оператору вантажної стійки про виникнення потенційної небезпеки. Інша важлива рекомендація, яка міститься в [74], – це необхідність використання блокування, що гарантує при відсутності заземлення зупинку надходження продуктів в резервуари і рух по трубопроводах. Призупинення руху вуглеводневої продукту виключає джерело генерації електростатичного заряду, тим самим запобігаючи появі додаткового електростатичного заряду в цистерні. Далі в документі йдеться про те, що опір менше 10 Ом може функціонувати задовільно, але результати випробувань, що показують опір більше 1 Ом, можуть бути «попереджувальним знаком», що спонукає до подальших випробувань. Наприклад, пропонується проводити фізичний огляд, щоб переконатися у відсутності початкових розривів з'єднання (таких, як пошкоджений дріт, слабе з'єднання або фарба під кріпильним гвинтом).

Заземлювальні пристрої, що застосовуються для захисту від статичної електрики, пропонують поєднувати з аналогічними пристроями наявного електрообладнання або блискавкозахисту. Опір даних пристроїв не повинен перевищувати 100 Ом [76].

Технологічні трубопроводи й обладнання, розташовані в резервуарному парку і на резервуарах, на всьому протязі повинні представляти собою безперервний ланцюг і приєднуватися до контуру заземлення не менше, ніж у двох місцях. У резервуарах з плаваючою покрівлею або понтоном пристрої захисту від електричної індукції забезпечуватимуть і захист від статичної електрики [77]. Однак не можна забувати, що заземлення резервуара дозволяє виключити тільки накопичення статичного заряду на контактних поверхнях і не сприяє прискоренню процесу релаксації (розсіювання) електричного заряду, що міститься в об'ємі рідини. Час релаксації об'ємного заряду становить не

менше $3 \tau_{\text{рел}}$ після закінчення його заповнення; у цей період заряд існує в об'ємі і надходить на поверхню рідини незалежно від того, заземлений резервуар чи ні. Саме в цей період існує ймовірність виникнення пожежі та вибуху.

1.4.2. Режимми технологічних процесів, що виключають утворення і накопичення зарядів статичної електрики

При русі нафти по технологічному тракту аж до приймального резервуара небезпеки від накопичення заряду статичної електрики практично немає, так як повітряних проміжків в апаратах тут немає і немає можливості виникнення електричного пробоя в газі. Інша ситуація існує в приймальному резервуарі, де обов'язково є газовий простір над поверхнею ГР. Тому завдання полягає в безпосередньому зменшенні електростатичного заряду, внесеного в приймальний резервуар [73- 83].

Для зменшення заряду, що накопичується в приймальному резервуарі з вуглеводневими діелектричними рідинами, пропонують застосовувати обмеження швидкості руху вуглеводневих рідин по трубопроводу. Ця вимога обмеження швидкості рідини в трубопроводах відображена в численних нормативних документах [27, 82-83]. У [79] йдеться про те, що швидкість необхідно доводити до величини менше 1 м/с. Саме при цій швидкості можна зменшити формування електростатичного заряду до безпечних рівнів, причому швидкість руху нафти в трубопроводах повинна становити: у всмоктуючих і соматичних трубопроводах 0,5-1,5 м/с; а в нагнітальних трубопроводах 0,5-7,0 м/с.

У [23] приводиться, що для нафтопродуктів з питомим об'ємним електричним опором не більше 10^9 Ом·м швидкості руху допускаються до 5 м/с. Для нафтопродуктів з питомим об'ємним електричним опором більше 10^9 Ом·м допустимі швидкості транспортування та закінчення встановлюються для кожного нафтопродукту окремо - проектом або

інструкцією.

У [81] наведено випадок, який стався в 1954 році на нафтопереробному заводі «Шелл» в м. Перніс, Нідерланди. Великий резервуар вибухнув через 40 хвилин після початку операції змішування (в резервуарі змішували один вид вуглеводневої рідини з іншим). Пожежа була загашена, і вуглеводневу рідину перекачали в інший резервуар. На наступний день знову почали операцію змішування, і через 40 хвилин стався ще один вибух. Резервуари не мали інертною азотної атмосфери, і в них була присутня вибухонебезпечна суміш парів нафти і повітря. Джерелом спалаху була статична електрика, що генерується через досить високу швидкість руху вуглеводневих рідин. Розслідування дійшло до висновку, що швидкість руху рідин була занадто високою, в той час, як висота резервуара була невеликою і рідина, яка надходила, виходила в паровий простір резервуара. Висока швидкість потоку викликала статичний електричний розряд у паровому просторі резервуара, в якому знаходилися легкозаймисті пари.

У нормативних документах окремо обумовлюється не тільки суворе обмеження швидкості на початковому етапі завантаження при заповненні порожнього резервуара світлими нафтопродуктами, а й швидкість до моменту затоплення верхньої твірної приймально-роздавального патрубку, яка не повинна перевищувати 1 м / с.

Однак на практиці досить важко вибрати таку оптимальну швидкість наливання, при якій забезпечувалася б як безпека самого процесу наливу так і необхідна продуктивність. Це пов'язано з тим, що електричне поле, яке утворюється в резервуарі, пов'язане з продуктивністю закачування рідини складними залежностями [84].

1.4.3. Збільшення провідності діелектричних матеріалів

Збільшення провідності діелектричних рідин полягає в зниженні

постійної часу релаксації шляхом додавання в нафту і нафтопродукти спеціальних присадок [43], що збільшують її провідність. Даний напрямок обрала голландська фірма «Shell». Недоліком методу є безперервний контроль за кількістю присадки в нафті й точне його дозування, бо при очищенні нафти фільтрами одночасно відбувається видалення присадки. Численними експериментами доведено, що, якщо збільшити електропровідність нафтопродуктів до величин 35-50 пСм, то електростатичний заряд швидко релаксує. Для кількісної оцінки часу релаксації введено поняття «час напіврозсіювання». Залежність між часом напіврозсіювання й електропровідністю виражається наступною залежністю

$$\tau_p = \frac{12}{\varepsilon}, \quad (1.1)$$

де τ_p - часом напіврозсіювання, с;

12 - коефіцієнт, с / (Ом · м);

ε - електропровідність вуглеводневої рідини, 1 / (Ом · м).

Повна релаксація палива настає при τ_p , який дорівнює 1,44 с. Для товарних реактивних палив час релаксації становить кілька хвилин. Антистатична присадка підвищує електропровідність діелектричних вуглеводневих рідин і при цьому величина утворюваного заряду і схильність палива до електризації при додаванні антистатичної присадки не зменшується, а іноді й збільшується. Але заряд, що утворюється при цьому, легко релаксує.

Антистатичні присадки використовують, в основному, при перекачуванні світлих палив, що електризуються. Принцип їх дії полягає у збільшенні електропровідності палив шляхом додавання до них розчинних солей металів [85]. При дисоціації присадок утворюються катіони хрому, які є носіями електричного заряду. В цьому відношенні хромові солі карбонових кислот виявилися настільки унікальними, що технічний

регламент [86], який встановлює вимоги до палив і забороняє вводити в них будь-які метали, для антистатичних присадок робить виняток. Унікальна дія солей хрому пояснюється особливостями їх будови. Якби ми мали молекулу солі в "класичному" вигляді, то в неполярному вуглеводні вона б практично не дисоціювала і на провідність палива не впливала. Але було з'ясовано [87], що молекула хромової солі досить складна і складається з двох різнойменно заряджених фрагментів, що беруть участь в естафетній передачі електрона. Більш глибокі дослідження показали, що дуже важливим є колоїдно-хімічний стан присадки. Вона повинна ефективно знижувати міжфазний натяг. В цьому випадку рухливість катіонів хрому, а отже, і електропровідність палива, різко зростають [88]. Необхідний колоїдно-хімічний стан забезпечується додаванням полімерів [89].

1.4.4. Створення негорючої середовища в паровому просторі резервуара

Статична електрика генерується кожного разу, коли вуглеводні закачуються в резервуар для зберігання, тому в [90] пропонується зробити так, щоб усі резервуари з нерухомим дахом об'ємом 100 м³ або більше, що містять вуглеводні при температурі вище температури спалаху, були заповнені азотом.

Одним із способів виключення умови утворення горючої середовища є зниження концентрації окислювача в займистою середовищі в захищуваному об'ємі. Даний спосіб дійсно використовується досить давно і, в ряді випадків, є найбільш ефективним, в тому числі для резервуарів для нафти і нафтопродуктів [91, 92]. Флегматизацію азотом, CO₂, топковим газом досить широко використовують. Але при цьому способі, що досить надійно забезпечує пожежовибухобезпеку, необхідно постійно контролювати вміст кисню в газовому середовищі резервуара.

1.4.5. Використання конструкторських рішень

Можливість іскроутворення в газовій фазі резервуара визначається напруженістю електричного поля, створюваного зарядами статичної електрики рідкої фази. Чим більше сумарний заряд рідини, тим вище напруженість електростатичного поля, і тим більша небезпека виникнення результативного розряду СЕ. Тому, для зменшення ймовірності появи електричних розрядів необхідно зменшити сумарний заряд рідини, що створює поле. Цього досягають поділом ємнісного простору резервуара на окремі секції металевими перегородками з отворами для перетікання рідини. Для зменшення небезпеки розрядів СЕ при заповненні резервуарів наелектризованими ВВДР, у резервуарі може бути секціонування, як показано на рис. 1.2.

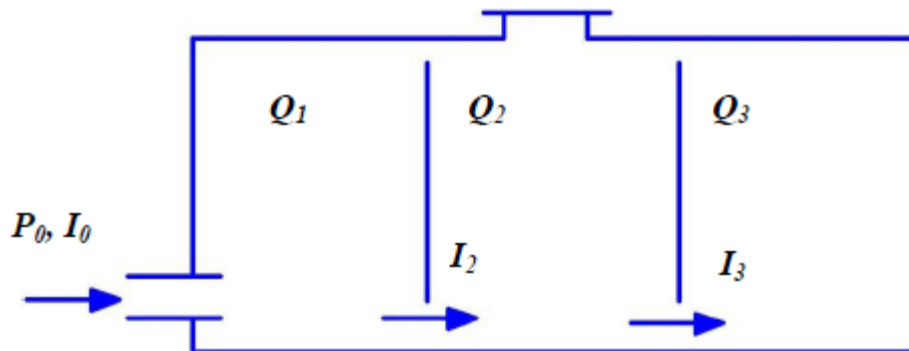


Рис. 1.2. - Секціонування резервуару

На практиці секціонування широко застосовується на автомобільних цистернах і паливних баках в літакобудуванні [93].

Відомо, що напруженість поля поблизу виступів більше, ніж загальна напруженість поля в околицях, тому розряди зазвичай виникають на виступах [94]. Розряд може статися між виступом і простором в його околиці, не досягаючи іншого об'єкта. Ці одноелектродні розряди рідко є причиною виникнення пожеж та вибухів, в той час, як розряди між двома електродами найчастіше і бувають причиною займання. Це розряди:

- між пробовідбірним апаратом, зануреним в резервуар, і поверхнею зарядженої вуглеводневої рідини;
- між незаземленим об'єктом, що плаває на поверхні зарядженої рідини, та елементом конструкції резервуару;
- між незаземленим обладнанням, підвішеним у резервуарі, та елементом конструкції резервуару [69, 95];
- якщо газова фаза містить краплі рідини або тверді частинки, на них може накопичуватися така кількість електростатичного заряду, яка при їх розряді може запалити наявні пари. Кілька пожеж і вибухів були обумовлені саме цією причиною [94].

Для забезпечення безпеки при завантажувальних роботах розробляються різноманітні приймально-роздавальні пристрої. При їх розробці переслідувалося завдання зменшити електричне поле над поверхнею рідини шляхом зменшення зазору між вступним патрубком і днищем резервуара [96].

1.4.6. Контроль щільності заряду статичної електрики в резервуарі

Завдання контролю величини електростатичного заряду, над рівнем наелектризованої рідини, яка надходить до резервуару, є найбільш слабким місцем у всій системі забезпечення безпеки від розрядів статичної електрики. Для контролю напруженості електростатичного поля частіше використовують динамічні електрометрії типу обертання крильчатки у вибухонебезпечному виконанні [97, 98].

Більш простим і доступним способом визначення щільності заряду, внесеного в резервуар, є визначення ЕЗ безпосередньо в трубопроводі [59, 62, 64, 66, 99, 100].

Однак, через складнощі реалізації даних вимірювань, уявлення про величину електростатичного заряду в резервуарі визначають

розрахунковим шляхом [101-103] після розробки і проведення досліджень на різних видах моделей [104, 105].

1.4.7. Застосування нейтралізаторів статичної електрики

Для зменшення величини заряду рідини, яка завантажується в резервуар, запропоновано на завантажувальному трубопроводі, безпосередньо біля входу в резервуар, встановлювати релаксаційні ємності [106, 107] або нейтралізатори із заземленими голчастими електродами [57]. Досвід показує, що вони малоефективні і, в кращому випадку, зменшують заряд лише вдвічі. Розроблено також пристрої для відведення зарядів СЕ з поверхні діелектричних рідин, наприклад, покриттям поверхні суцільною гнучкою металізованою пластиною-електродом, яка електрично з'єднана зі стінкою ємності і переміщуються по вертикальній направляючій [108]. Однак виникаючий при нестационарному режимі роботи (транспортування, завантаження тощо) нестационарний за величиною і місцем тиск рідини, швидко виводить з ладу пружинні контакти пристрою і створює можливість додаткової електризації рідини, відриває електрод від рідини, завдяки чому виникає можливість утворення іскрового розряду тощо.

у роботі [109] пропонується поверхню діелектричної рідини покривати плаваючим шаром металізованих частинок смоли з розмірами в межах від $2 \cdot 10^{-6}$ до $100 \cdot 10^{-6}$ м. Частинки електропровідного шару стикаються один з одним і простягаються від стінки до стінки резервуара. Недоліками даного способу відводу зарядів є те, що відведення зарядів здійснюється тільки з поверхні рідини; контактна поверхня частинок смоли з рідиною маленька; через відсутність прижимних зусиль між частинками електричний опір ланцюгів «частка смоли - земля» високий, крім того, частинки смоли у деяких випадках окислюються і полімеризуються, включення в діелектричні вуглеводневі рідини при нестационарних режимах покриваються діелектричної плівкою полімеру,

яка електропровідні частинки смоли перетворює в діелектрики. Пропонується поверхню електризованої рідини покривати порожніми металевими кульками, дотичними між собою, що тягнуться від стінки до стінки заземленої ємності [110]. Цей пристрій теж непридатний для відводу зарядів статичної електрики від окислюючих і полімеризуючих включень у вуглеводневій рідині.

Також пропонується [111] покривати дзеркало електризованої рідини в ємностях електропровідними поплавками, маса яких (до 60%) зосереджена в найнижчій частині робочого положення поплавців, що дозволяє занурюватися поплавцю на 85%- 90% об'єму. Кількість поплавців на 10-20% перевищує розрахункове, що забезпечує повне покриття поверхні дзеркала рідини в ємності. Завдяки цьому поплавець набувають певної орієнтації і здатність займати певне положення по відношенню до дзеркала рідини, що перешкоджає протіканню окисних і полімеризаційних процесів і утворення діелектричної плівки полімеру на контактній поверхні.

У [112] запропоновано пристрій щодо відведення заряду зі струменя, що надходить до резервуару з завантажувального патрубку, вже після її закінчення, але до виходу зарядженого струменя на поверхню рідини в заповнюваному резервуарі. Цей пристрій дозволяє знизити щільність зарядів у приповерхневому шарі рідини до безпечних значень при швидкості потоку в завантажувальному патрубку до 4-5 м/с. Пристрій може бути використаний при заповненні великогабаритних апаратів і ємностей, всередині яких неможлива установка інших відомих пристроїв для відведення зарядів всередині резервуара. Це простий засіб відведення зарядів статичної електрики із заповнюваних апаратів є насадкою, яка закріплюється на кінці завантажувального патрубку. Виріз у боковій стінці насадка створює сектор витікаючого віялового струменя.

Провідність повітря (у верхній частині резервуара) може бути збільшена генерацією електрично заряджених іонів, які потім

забезпечують відведення на землю або на обладнання електростатичних зарядів. Іонізація повітря може бути досягнута шляхом використання [41]:

- а) електричних випрямлячів;
- б) індукційних голок;
- в) радіоактивних джерел, які випускають іонізуюче випромінювання.

1.5. Механізм утворення і накопичення електричних зарядів у вуглеводневих рідинах

При протіканні рідин у потоці виникає об'ємний електричний заряд, відбувається електризація рідини [113].

Запропоновано чимало гіпотез і теорій щодо фізичних механізмів зарядоутворення в рідких діелектриках [114 - 117]. Вважається, що носіями електричних зарядів у діелектричній рідині, крім електронів можуть бути електрично заряджені структури (різні іони), що складаються з окремих іонізованих атомів, молекул, радикалів або більших утворень. Крім того, в рідині заряди можуть переноситися навіть бульбашками газу [118].

Будь-який технічний вуглеводневий нафтопродукт є багатокомпонентним слабкопровідним середовищем і має деякі включення і домішки. Домішки електролітної природи, що складаються з іонних пар, у вуглеводневих рідинах, які мають невеликий дипольний момент, переходять у стан пов'язаних іонних пар.

Прийнятою на сьогодні теорією, що пояснює поділ зарядів, в тому числі, і в рухомих рідинах, є теорія утворення подвійного електричного шару на межі розділу фаз. Уперше теорія подвійного шару була висунута Г. Гельмгольцем [119] на основі робіт В. Кольрауша і гіпотези Г. Квінке.

Межі «тверде - розчин» дослідниками приділялася велика увага [120]. У цьому шарі протікають основні процеси, які призводять до появи і розділення зарядів.

1.6. Аналіз експериментальних робіт в області електростатичних процесів у резервуарах з нафтопродуктами

Інтенсивна електризація вуглеводневих рідин відбувається при:

- протіканні рідин у трубах або через фільтраційні матеріали (контакті між рідиною і твердим тілом);
- русі твердого тіла відносно нерухомої рідини - відстоювання тонкодисперсних твердих суспензій у непровідній рідині небезпечний процес, який може протікати при осадженні частинок вогнегасного порошку після його використання і привести до повторного займання рідини в резервуарі;
- контакті двох змішуючих рідин (відносний рух рідин) - відстоювання води, поділ водно-вуглеводневих емульсій, підйом рівня підтоварної води, перемішування тощо;
- контакті між рідиною і газом - розпилення рідини в газі (падіння вільного струменя палива), при цьому краплі, які несуть вільний заряд можуть утворитися в результаті ефекту Ленарда [121], підйом газових бульбашок у рідині - барботаж рідини газом, електризації парових струменів ;
- контакті між двома твердими тілами - пожежі виникали при подачі рідкого діоксиду вуглецю в паровий простір резервуара, при цьому утворюються пластівці твердого діоксиду вуглецю, рухаючись один відносно одного, – призвели до накопичення великого електростатичного заряду;
- розпилені рідини - суміші газу з рідиною при витіканні через сопла електризуються (в тому числі парові струмені), зріджені нафтові гази, витікаючи через сопло, електризуються, так як складаються з суміші парів рідини і крапель рідини;
- розбризкуванні рідини - наприклад, падіння вільного струменя рідини в резервуар, якщо рідина заряджається при протіканні

трубопроводом, через фільтр до величини 300 мкл/м^3 , то створює в струмені діаметром 76 мм напругу 600 кВ/м [121]. При наливанні рідких вуглеводнів відкритим струменем максимальний електричний потенціал на поверхні рідини в 5 - 10 разів вище за максимальний потенціал при наливанні затопленим струменем за тих самих умов [115].

У [122] зазначається, що дані, в тому числі і кількісні, по інших механізмах електризації, крім течії діелектричних рідин в трубах і фільтрах, досить обмежені.

У проведених дослідниками [123-126] лабораторних експериментах з вивчення електризації в поточному середовищі і фактори, що впливають на неї, вимірюваними величинами були:

- повний конвективний струм через поперечний переріз каналу J_{con} (струм виносу, сила струму електризації);
- щільність заряду в рідині;
- заряд, що випливає з каналу в одиницю часу;
- повний струм, що знімається з бічних стінок каналу на вимірювальній ділянці;
- довжина релаксації L , на якій конвективний струм досягає свого максимального значення.

У всіх експериментальних установках електризацію визначали тільки при русі трубопроводами.

Для визначення щільності заряду на поверхні рідини, рідина заряджалася за рахунок прокачування через трубопроводи або фільтри. Розряди відбувалися з рухомої поверхні рідини, що не дозволяло досягти незмінності умов виникнення зарядів. Тоді за допомогою зануреного в рідину металевого електрода, з'єднаного з джерелом високої напруги, вдалося забезпечити рівномірне заряджання нерухомою поверхні рідини й отримати іскрові розряди.

На рис. 1.3 представлена схема установки для вивчення поверхневої густини заряду, що забезпечує розряд із поверхні.

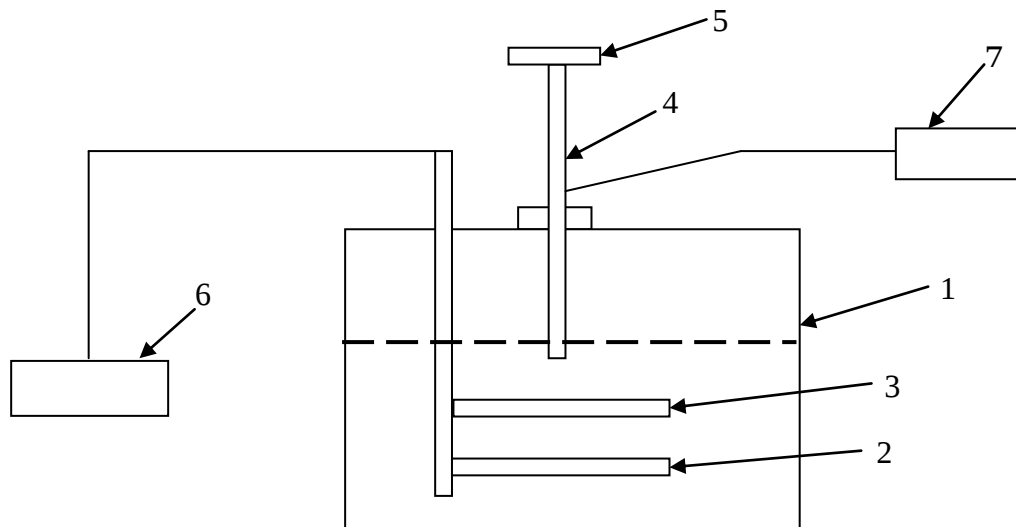


Рис. 1.3. - Схема установки для визначення щільності заряду, що приводить до виникнення розряду з поверхні: 1 - діелектрична посудина; 2 - пластина зарядного електрода; 3 - зарядне кільце; 4 - вмонтований розрядний електрод; 5 - діелектрична рукоятка; 6 - джерело напруги на зарядному електроді; 7 - аналізатор трикутного імпульсу, що надходить з електрода

Досліджувана рідина заливалася в діелектричний посудину і під час проведення експерименту залишалася нерухомою. Заряджання рідини здійснювалося за допомогою зануреного в неї зарядного електрода, що складається з розміщеної на дні пластини і кільця, розташованого під поверхнею рідини. Зарядний електрод поєднувався з регульованим джерелом високої напруги через обмежуючий опір і фільтр. За допомогою даної установки була отримана залежність щільності поверхневого заряду, що викликає розрядний імпульс на електрод. Однак виведена залежність поширювалася тільки на конструкцію даної установки і не може бути застосована для будь-якого резервуара.

Однак проведені оцінки ступеню електризації діелектричних рідин далеко не відповідають дійсним реаліям. У [127] приведено, що «труднощі в правильній оцінці електризації матеріалів і, відповідно, в рішеннях щодо відведення та нейтралізації зарядів з поверхні рідин у багатьох випадках

обумовлені ... великою різноманітністю технологічних режимів процесів, при проведенні яких можливе накопичення і розряди статичної електрики в масі матеріалів ».

1.7. Дослідження умов виникнення пожежі та вибуху в резервуарах з ГР

У трубопроводі при русі нафтопродуктів може утворитися і перебувати без створення пожежонебезпечної обстановки заряд будь-якої величини, так як там немає окислювача, і розряди в обсязі ГР, якщо і будуть, то призведуть тільки до можливого утворення якихось нових з'єднань. Наприклад, частинок вуглецю або низькомолекулярних сполук (метан, етан тощо) - продуктів термічної деструкції рідкого вуглеводню при високотемпературному безкисневому розкладанні (в тому числі, і від електростатичних розрядів, що виникають при транспортуванні ГР трубопроводами), або продуктів полімеризації, наявних в нафтопродукті ненасичених сполук.

Небезпека загорання ГР виникає в той момент, коли наелектризована рідина стикається з окислювачем. Заповнення резервуара є основним моментом небезпеки виникнення пожежі в результаті розряду статичної електрики [128-130].

Апарати або технологічне обладнання відповідають вимогам електростатичної іскробезпеки в тому випадку, коли виникнення розрядів статичної електрики виключено або якщо існують розряди з запальною здатністю в 2,5 рази менше, ніж мінімальна енергія запалювання горючих сумішей, що утворюються в даному процесі [131].

Енергія dW_{ic} , що розсіюється при виникненні іскри і перенесення заряду dq з однієї зарядженої поверхні краплі на іншу, внаслідок чого заряд поверхонь зменшується на dq , дорівнює (1.2)

$$dW_{ic} = \Delta\varphi \cdot dq, \quad (1.2)$$

де W_{ic} - потужність іскри, Вт; $\Delta\varphi$ - різниця потенціалів між початковою та кінцевою точками траєкторії розряду, В; dq - зміна величини заряду, Кл.

Припустивши, що весь накопичений на даній поверхні або окремій краплі заряд Q витрачається при виникненні іскри W_{ic} , повну виділену при цьому енергію можна визначити за формулою (1.3) [132]

$$W_{ic} = \frac{Q \cdot \Delta\varphi}{2}, \quad (1.3)$$

де Q - повний заряд, накопичений на даній поверхні або краплі, Кл.

Визначення фактично виділеної енергії при розряді становить значні труднощі, тому що заряджені краплі вуглеводневого діелектрика мають нееквіпотенціальні поверхні; крім того, зазвичай, невідома їх поверхня. В цьому випадку енергію електростатичного розряду можна визначити наближено, прийнявши у формулі (1.2) замість змінної $\Delta\varphi$ максимальний потенціал на діелектричній поверхні, розрахований по пробивній відстані для даних заряджених частинок ГР.

Середня напруженість електричного поля, при якому можливий розряд у повітряному середовищі, становить $E = 4 \cdot 10^2 \div 5 \cdot 10^2$ кВ / м для різко неоднорідного і $15 \cdot 10^2 \div 20 \cdot 10^2$ кВ / м - для слабо неоднорідного поля. Для однорідного електричного поля величина доходить до $30 \cdot 10^2$ кВ / м [133].

Внесені разом із паливом до резервуару електростатичні заряди створюють електричне поле і, відповідно, умови для виникнення іскрового пробою газового простору над поверхнею продукту.

Якщо прийняти, що в парах вуглеводневих заряджених крапель є різко неоднорідне поле, то тоді розряд можливий при напруженості поля $4 \cdot 10^2$ кВ/м.

Граничне значення щільності об'ємного заряду q_m , при якому настає електричний пробій рідини в трубопроводі і на поверхні рідини, знаходять із рівняння (1.4) [134]

$$q_m = \frac{4\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot E_m}{D}, \quad (1.4)$$

де ε - діелектрична проникність рідини; ε_0 - абсолютна діелектрична проникність, Ф / м; E_m - граничне значення напруженості електричного поля для даної рідини, В; D - коефіцієнт дифузії іонів, см²/с.

У [135] встановлено, що на процес електризації рідини впливають вологість середовища, наявність домішок, швидкість краплеутворення та інші фактори, які важко врахувати, проте це все відноситься до поверхневої електризації, а не до електричного заряду, який уже наявний в рідині. У [135] йдеться, що «внаслідок електричних властивостей поверхневих шарів рідини будь-яка зміна поверхні сприяє просторовому розділенню зарядів подвійного шару і тим самим заряджанні крапельок рідини».

Відомо, що при стрімкому перебігу важкої рідини можуть виникати за певних умов стрибки, тобто підйоми рівня рідини (хвилі). При гідравлічному стрибку виникає зворотна течія в верхніх шарах рідини, рух бурхливий, потік насичується бульбашками повітря.

У [135] вказується, що при розряді з наелектризованої діелектричної рідини, заряд закінчується тільки з глибини не більше 4 см, решта заряду при цьому зберігається в рідині.

Тому визначальним щодо безпеки появи розряду над поверхнею рідини є щільність заряду рідини при виході на поверхню дзеркала рідини.

Методи теоретичного визначення поверхневого заряду, які пропонуються дослідниками, такі: заряд, що накопичився в резервуарі, можна визначити за виразом [134]

$$q_{\text{рез}} = \frac{\pi \cdot r_0^2 \cdot v_0 \cdot \tau_{\text{const}} \cdot q_V}{v_{\text{нач}} + r_0^2 \cdot v_0 \cdot \tau_{\text{проц}}} \cdot \left[1 - e^{-\frac{\tau_{\text{проц}}}{\tau_{\text{const}}}} \right], \quad (1.5)$$

де $q_{\text{рез}}$ - заряд, що накопичився в резервуарі з моменту завантаження, Кл; r_0 - радіус трубопроводу, м; v_0 - швидкість потоку рідини в трубопроводі, м / с; τ_{const} - постійна часу релаксації ЕЗ, с; q_V - щільність об'ємного заряду в рідині, що виходить з трубопроводу, Кл / м³; $v_{\text{нач}}$ - початковий обсяг рідини в резервуарі, м³; $\tau_{\text{проц}}$ - час, що минув з початку завантаження ГР до резервуару, с; r_0 - радіус трубопроводу, м.

А для випадку завантаження в порожній резервуар

$$q_{\text{рез}} = q_V \cdot \frac{\tau_{\text{const}}}{\tau_{\text{проц}}} \cdot \left[1 - e^{-\frac{\tau_{\text{проц}}}{\tau_{\text{const}}}} \right]. \quad (1.6)$$

Виходячи з наведеної формули (1.6), у разі завантаження в порожній резервуар видно, що, якщо час релаксації заряду становить 10 - 20 секунд, то, навіть якщо q_V - становить величину, розраховану з допустимої для досягнення заряду рівного 1/4 мінімальної потужності розряду для займання даної рідини, то в перші 2,5 - 5 с така можливість завжди присутня при завантаженні ГР у резервуар [136, 137].

1.8. Задачі дослідження

Відповідно до проведеного аналізу сформульовано наступні задачі дослідження:

1. Провести аналіз способів, що забезпечують підвищення пожежовибухобезпеки при проведенні технологічних процесів завантаження горючих рідин (ГР) і легкозаймистих рідин (ЛЗР) у резервуари;

2. Обґрунтувати показник (критерій) зниження пожежовибухонебезпеки процесу завантаження в резервуари горючих і легкозаймистих речовин;
3. Провести моделювання процесу заповнення ГР і ЛЗР резервуарів;
4. Розробити завантажувальний пристрій, що дозволяє підвищити пожежовибухобезпеку операції наповнення резервуарів ГР та ЛЗР шляхом зниження додатково генерованого ЕЗ;
5. Провести комплекс експериментальних досліджень з визначення напруженості електростатичного поля, сформованого на поверхні приймального резервуара
6. Отримати оцінки ефективності використання розробленого завантажувального пристрою.

1.9. Висновки

1. Вивчено вітчизняний і зарубіжний досвід запобігання пожеж в резервуарах. Проаналізовано нормативну базу.
2. Розглянуто методи, що використовуються для запобігання виникнення пожеж та вибухів від статичної електрики при заповненні резервуарів ГР і ЛЗР. Наведено дані про пожежі, що виникають при заповненні резервуарів ГР від розрядів статичної електрики, які мали місце в різних країнах.
3. Наведено дані про дослідження в області електризації вуглеводневих діелектричних рідин, які здійснювалися, в основному, для процесів, що протікають при русі діелектричних рідин трубопроводом, і способам і методам, які дозволяють знизити електростатичний заряд, внесений в резервуар потоком рідини. Невелика кількість робіт відноситься до процесів, що протікають безпосередньо в ємностях при їх

заповненні та спорожненні, однак установки і дослідження саме в області електризації безпосередньо в резервуарах при їх заповненні - відсутні.

4. Показано, що уявлення, які склалися на сьогоднішній день про причини вибухів і пожеж при операціях наливання палива в цистерни, вимагають істотних доповнень і уточнень, в тому числі, і кількісних оцінок основних фізичних процесів, що протікають при надходженні рідини в ємності різної конфігурації.

5. На підставі аналізу опублікованих на цей момент робіт в області електризації нафти і нафтопродуктів можна зробити висновок, що в даний час актуальними проблемами при операціях з нафтопродуктами для запобігання пожеж і вибухів є: накопичення експериментальних даних про величину поверхневого ЕЗ і його розподіл при заповненні резервуарів; використання комп'ютерних програмних комплексів для підвищення надійності інформації про рух рідини при завантаженні резервуара і розподілі внесеного з рідиною електростатичного заряду; розробка методів, що дозволяють знизити величину поверхневого ЕЗ у резервуарах різного типу.

6. Сформульовано задачі дослідження.

РОЗДІЛ 2. МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗАПОВНЕННЯ РЕЗЕРВУАРІВ ГОРЮЧИМИ ТА ЛЕГКОЗАЙМИСТИМИ РІДИНАМИ

Одними з найбільш складних, трудомістких і пожежонебезпечних технологічних операцій на підприємствах нафтопродуктозабезпечення є завантаження рідин в резервуари. Відомо, що пожежа і вибух в заповнюваному резервуарі виникає тоді, коли потужність іскрового розряду статичної електрики дорівнює або є більшою за мінімальну енергію запалювання пароповітряних сумішей у газовому просторі резервуара.

Потужність іскрового розряду залежить від щільності об'ємного заряду, наявного в ГР, а також від процесів руху цих рідин у самому резервуарі.

Щільність поверхневого ЕЗ при закачуванні в порожній резервуар може бути на кілька порядків вище, ніж у частково заповненому. Тому закачування ЛЗР, ГР у порожній резервуар задля уникнення вибухів слід проводити на початковому етапі з особливою обережністю [60, 138, 139]. Дане явище констатується, і в літературі наводяться факти, які при порушенні даних правил призводили до надзвичайних ситуацій.

Якщо прийняти, що щільність об'ємного заряду, який виходить на поверхню, пов'язана з сукупністю миттєвих швидкостей, то в незаповненому резервуарі обурення, викликані потоком у приповерхневому шарі, набагато вище збурень, ніж обурення, викликані у приповерхневому шарі, коли струмінь стає затопленим.

Для вирішення поставленого питання можна спертися на рішення нестационарних рівнянь Нав'є-Стокса, які описують динаміку рідини [140].

2.1 Математична модель руху рідини при заповненні циліндричних резервуарів вертикального типу

Для визначення величини електризації вуглеводневих рідин при потраплянні до резервуару необхідно було провести розрахунок гідродинамічних характеристик турбулентної течії, викликаной циркуляцією нафтопродуктів у вертикальному циліндричному резервуарі під час його заповнення.

Математичний опис турбулентного руху ґрунтується на рівняннях нерозривності і рівнянні руху в'язкої нестисливої рідини - рівнянні Нав'є-Стокса, в які підставляється справжня швидкість, що виражається як сума середньої за часом і пульсаційної складових. Ці рівняння можуть бути записані у вигляді системи [141, 142, 143]

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho \left(u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = f_1 - \frac{\partial p}{\partial x} + (\mu + \mu_T) \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \\ \rho \left(u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = f_2 - \frac{\partial p}{\partial y} + (\mu + \mu_T) \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \\ \rho \left(u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = f_3 - \frac{\partial p}{\partial z} + (\mu + \mu_T) \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \\ \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \end{array} \right. \quad (2.1)$$

де $u(x, y, z)$; $v(x, y, z)$; $w(x, y, z)$ - невідомі функції - складові поля; $u(x, y, z)$ - усередненої швидкості; $p(x, y, z)$ - поле тиску в стаціонарному потоці; ρ - щільність рідини; μ - коефіцієнт динамічної в'язкості; μ_T - коефіцієнт турбулентної в'язкості.

Прийнявши, що джерела зовнішніх сил, крім сили тяжіння, в системі відсутні: $f_i = 0$, і відомі параметри: ρ - щільність рідини і μ - коефіцієнт

динамічної в'язкості - постійні властивості рідини; μ_t - коефіцієнт турбулентної в'язкості є характеристикою потоку.

Коефіцієнт турбулентності у всіх частинах об'єму рідини різний, він змінюється відповідно до коливань градієнта швидкості від нуля під стінами до відносно великих значень для різних перешкод (конструкційних елементів) у резервуарі. Оцінка коефіцієнта турбулентної в'язкості ґрунтується на моделях турбулентності.

Диференціальні рівняння (2.1) доповнили умовами рівності нулю швидкості на межах і витратою рідини і швидкості рідини на вході в ємність. А також: рівнянням безперервності, рівнянням руху, рівнянням енергії, моделлю турбулентності [144].

Рівняння безперервності випливає із закону збереження маси: основне рівняння для випадку в'язкої нестисливої рідини, можна прийняти наступне

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \operatorname{div} \rho v = 0, \quad (2.2)$$

де ρ - щільність, $\text{кг} / \text{м}^3$; v - вектор швидкості, $\text{м} / \text{с}$; t - час, с.

Швидкість зміни щільності виражається через швидкість зміни тиску і швидкість зміни щільності по тиску наступним рівнянням [144]

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \frac{\partial \rho}{\partial p} \cdot \frac{\partial p}{\partial t}, \quad (2.3)$$

де ρ - щільність, $\text{кг} / \text{м}^3$; t - час, с; p - тиск, Па.

При побудові математичної моделі використовувалися рівняння для випадку в'язкої нестисливої рідини. Для нестисливого середовища рівняння

$$\frac{\partial \rho}{\partial P} = \frac{1}{\beta} \quad (2.4)$$

де P - тиск, Па; β - дорівнює 10^{15} та характеризує нестисливе середовище.

І система рівнянь

$$\begin{cases} \frac{\partial p}{\partial t} + \nabla(\rho \cdot V) = 0 \\ S = (\rho - \rho_{hud})g + \rho \cdot B + R \\ R = -D \cdot V \\ B = -2\omega \cdot V - \omega^2 r \end{cases} \quad (2.5)$$

де R - сила ізотропного опору, Н; D - коефіцієнт ізотропного опору, кг/(м³·с); B - сума коріолісової і відцентрової сил, Н; S - призначена для користувача об'ємна сила, Н / м³.

2.2. Моделювання руху рідини при заповненні циліндричних резервуарів вертикального типу

Моделювання потоків руху ГР при потраплянні до резервуару виконували з використанням програмного комплексу гідродинамічних розрахунків FlowVision, призначеного для чисельного моделювання тривимірних ламінарних і турбулентних, стаціонарних і нестаціонарних течій рідини і газу. В основі програмного комплексу лежить метод кінцевих об'ємів. Визначальним моментом у виборі цієї програми стало те, що програмний комплекс FlowVision має широкі можливості моделювання течій і має інтерфейс обміну результатами розрахунку з широко поширеними звичайно-елементними програмами.

Для оцінки величини електризації ГР при потраплянні до резервуару і проведення розрахунку гідродинамічних характеристик турбулентної

течії, викликаного циркуляцією ГР у вертикальному циліндричному резервуарі при його заповненні, використовували математичний опис турбулентного руху, засноване на рівняннях нерозривності і рівнянні руху в'язкої нестисливої рідини (рівняння Нав'є-Стокса). Витратою рідини і швидкості рідини на вході в ємність задавалися в процесі дослідження.

Проведення кінцево-елементного розрахунку за допомогою програмного комплексу FlowVision включало наступні кроки:

- створення розрахункової області (геометричної моделі);
- створення кінцево-елементної моделі;
- завдання фізико-механічних параметрів потоку (в'язкість рідини, її щільності тощо);
- вибір моделі розрахунку (нестислива ньютонівська рідина з поверхнею розділу з газом);
- вибір методу рішення і розрахункових параметрів (кількість ітерацій, умови збіжності);
- рішення та дослідження результатів за допомогою постпроцесора.

2.2.1. Вихідні параметри для моделювання

Геометричні моделі вертикальних сталевих циліндричних резервуарів створювали в програмі «Компас», які відрізнялися між собою габаритними розмірами при однаковій формі рис. 2.1.

Габаритні розміри резервуарів брали відповідно до [145] табл.2.1.

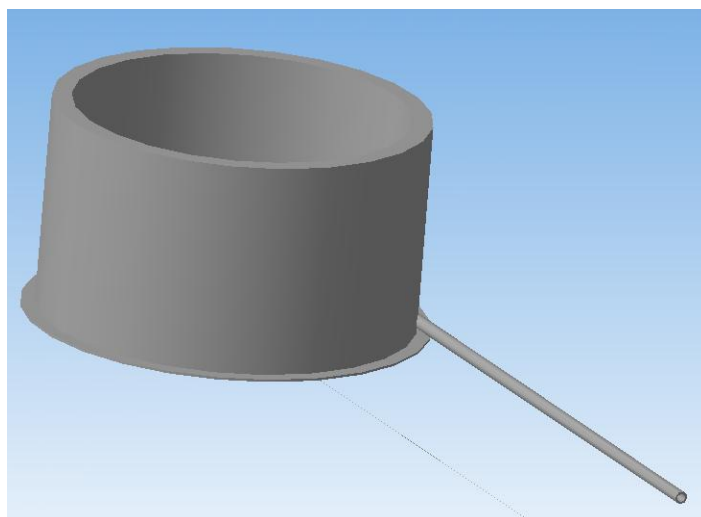


Рис. 2.1. - Модель резервуара, створена в програмі «Компас»

Діаметри завантажувальних патрубків обирали відповідно до табл.2.2.

Таблиця 2.1.

Габаритні розміри резервуарів для побудови моделей у програмі
тривимірного моделювання КОМПАС-3D

Позначення	Об'єм, $V_{\text{рез}}, \text{м}^3$	Діаметр, $D_{\text{рез}}, \text{мм}$	Висота, $h, \text{мм}$
PBC - 100	100	4730	5960
PBC - 200	200	6630	5960
PBC - 300	300	7580	7450
PBC - 400	400	8530	7450
PBC - 700	700	10430	8940
PBC - 1000	1000	10430	11920
PBC - 2000	2000	15180	11920
PBC - 3000	3000	18980	11920
PBC - 5000	5000	20920	14900
PBC - 10000	10000	28500	17880
PBC - 20000	20000	39900	17880
PBC - 30000	30000	45600	17880
PBC - 50000	50000	60700	17880

Таблиця 2.2.

Основні параметри патрубків у стінці резервуара

Умовний прохід патрубка, мм	Мінімальні товщини, мм		Мінімальна відстань від стілки до фланця, мм	Мінімальна відстань від днища до осі патрубка, мм	
	обичайка патрубка	фланця		з посиленою кільцевої накладкою	з посиленою П образною накладкою
80	6	21	200	200	-
100	6	23	200	250	-
150	7	25	200	300	-
200	7	27	250	340	-
250	8	28	250	390	-
300	8	28	250	450	-
350	10	30	300	500	-
400	10	34	300	550	-
500	12	44	350	650	530
600	12	45	350	-	600

Вид резервуара, що імпортується для вирішення задачі в програмний комплекс VlowVision, наведено на рис. 2.2.

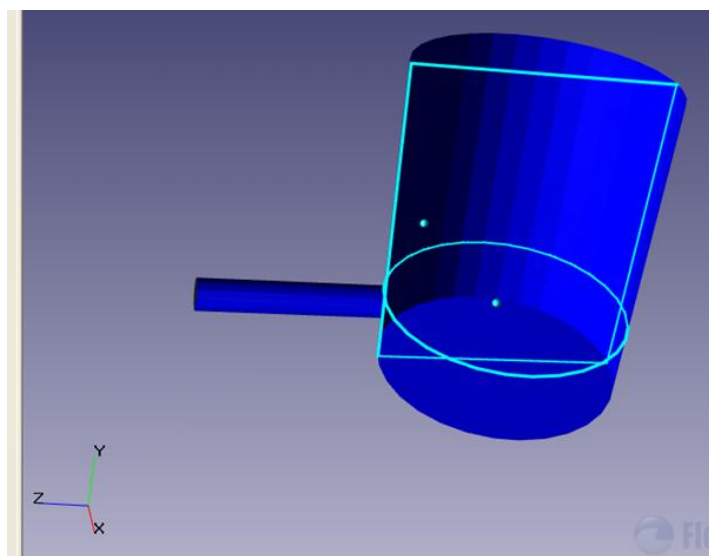


Рис. 2.2. - Вид резервуара, що імпортується для вирішення завдання в програмний комплекс VlowVision

В якості діелектричної рідини, що надходить у резервуар, розглядали нафту, дизельне паливо, бензин.

Параметри нафти: щільність 720 кг/м^3 , в'язкість $0,00052 \text{ кг/м}^2\text{с}$, поверхневий натяг $0,021 \text{ Н / м}$, лінійна швидкість руху нафти в трубопроводі (завантажувальному патрубку) змінювали від $0,05$ до 7 м/с , масова швидкість надходження нафтопродукту відповідно змінювалася від 36 до 5040 кг/с . Прийняли продуктивність, що дорівнює $500 \text{ м}^3/\text{год}$, відповідно до [146].

У початковий момент (до надходження нафти), вважали, що резервуар заповнений повітрям. Використовувані в розрахунках параметри повітря: щільність - $1,225 \text{ кг/м}^3$; в'язкість $18,28 \cdot 10^{-6} \text{ кг/м}^2\text{с}$; молекулярна маса $0,029 \text{ кг/моль}$.

Розглядали як турбулентний ($v \geq 5 \text{ м / с}$), так і перехідний і ламінарний режим течії ($v \leq 0,1 \text{ м / с}$) рідини у вхідному патрубку при завантаженні в резервуар. Наприклад, число Рейнольдса для гладкого вхідного патрубка діаметром 100 мм дорівнює

$$Re = \frac{v \cdot D_{\text{пат}} \cdot \rho}{\mu} = \frac{1 \cdot 0,1 \cdot 720}{0,00052} = 138461 \quad (2.6)$$

При цьому турбулентний режим при $Re \geq 2300$.

В якості базової гідродинамічної моделі була обрана двофазна модель нестисливої ньютонівської рідини (фаза - нафта) і суцільної ньютонівської рідини (фаза - повітря) із визначенням межі розділу нафту-повітря.

Вплив шорсткості стінок враховувалося за допомогою введення ефективної в'язкості [144] і формальної заміною молекулярної в'язкості на ефективну в'язкість (2.7)

$$\mu \rightarrow \mu_{eff} = \mu + a_h \cdot \rho \cdot v_t \cdot h_s, \quad (2.7)$$

де μ - молекулярна динамічна в'язкість, $\text{Па} \cdot \text{с}$; μ_{eff} - ефективна в'язкість, $\text{Па} \cdot \text{с}$; a - коефіцієнт, прийнятий рівним 0,30756; ρ - щільність рідини, $\text{кг} / \text{м}^3$; v_t - зсувна швидкість, $\text{м} / \text{с}$; h_s - еквівалентна «пісочна» шорсткість, м .

2.3. Аналіз розподілу рідини при завантаженні в резервуари вертикального типу

Розпилення рідини, розподіл струменя рідини в об'ємі резервуара, рух по стінках, завихрення і утворення туману, отримані з використанням програми FlowVision для різних швидкостей і тисків у завантажувальному патрубку, представлені на рис. 2.3 - 2.4.

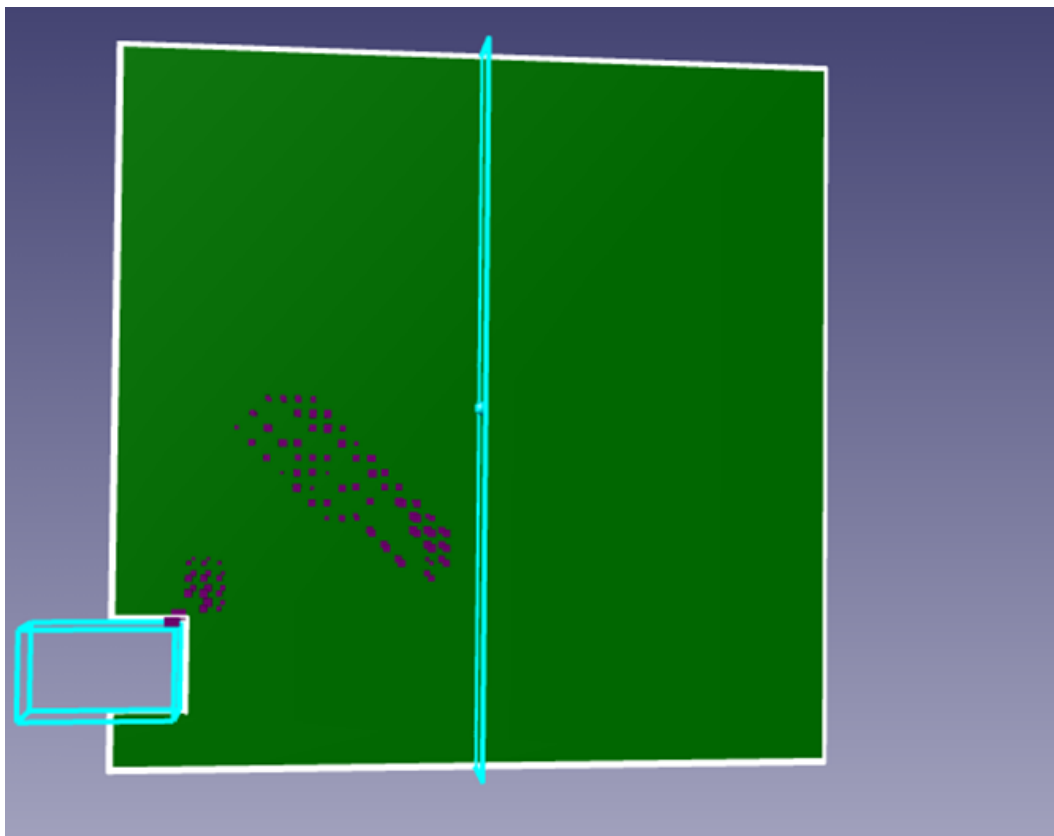


Рис. 2.3. - Розпилення рідини на вході в резервуар: швидкість НП у вхідному патрубку дорівнює 1 м/с, об'єм резервуара 150 м³

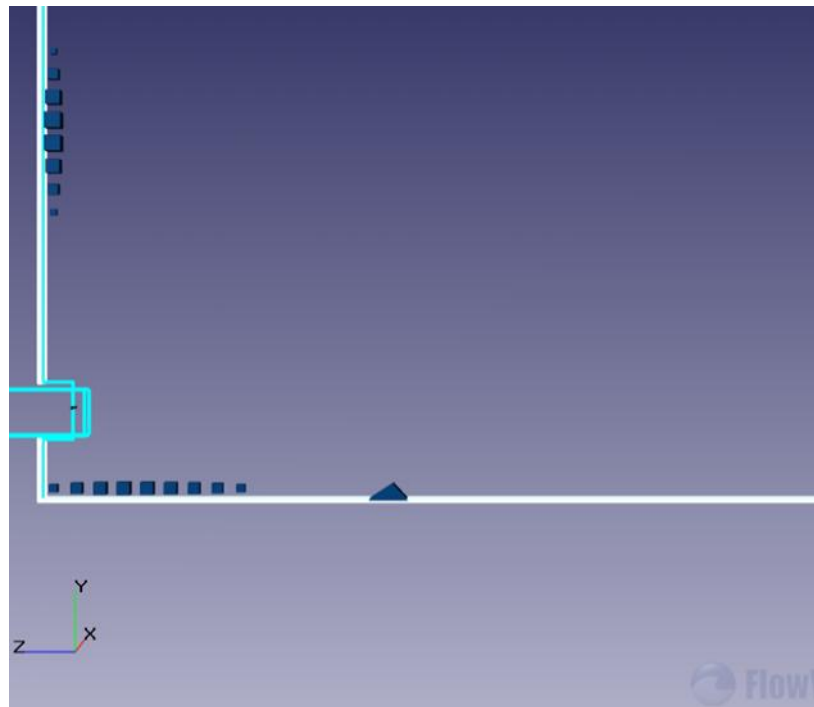


Рис. 2.4. - Рух рідини на вході в резервуар: швидкість у вхідному патрубку дорівнює 2 м / с, об'єм резервуара 5000 м³.

На рис. 2.5 представлено розпилення рідини на вході в резервуар при швидкості в трубопроводі $v = 6$ м/с; обсяг моделі для розрахунку розбитий на 5038 комірок.

На рис. 2.6 лінійна швидкість руху рідини в трубопроводі 0,1 м/с, крок часу між окремими скринами 0,005 с.

На рис. 2.7 представлено розпилення рідини на вході в резервуар при різноманітному тиску в трубопроводі. Час, що минув від початку завантаження, вказано під відповідним рисунком [147].

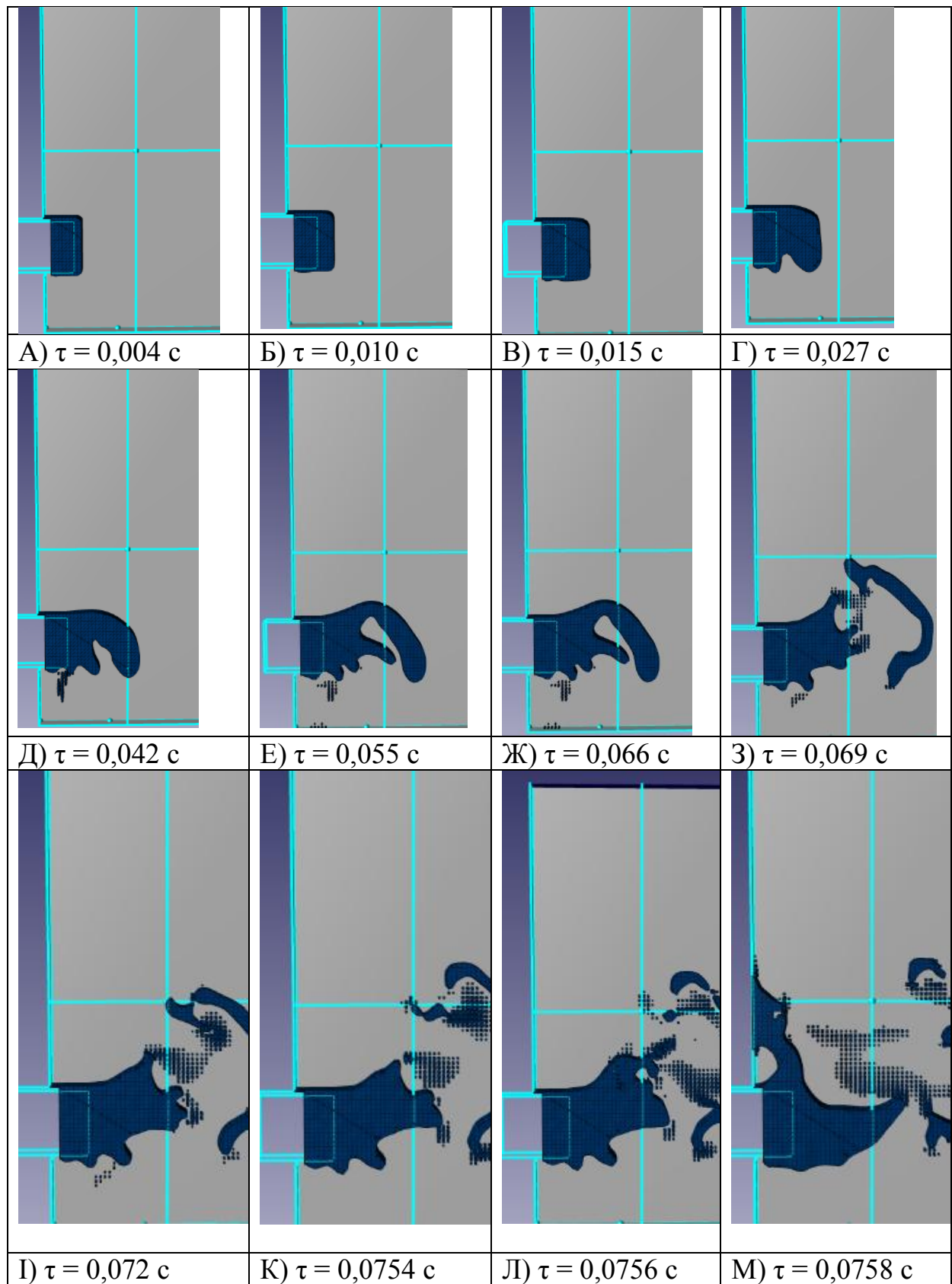


Рис. 2.5. - Поводження струменя нафти при завантаженні в резервуар: τ - час від початку завантаження, с

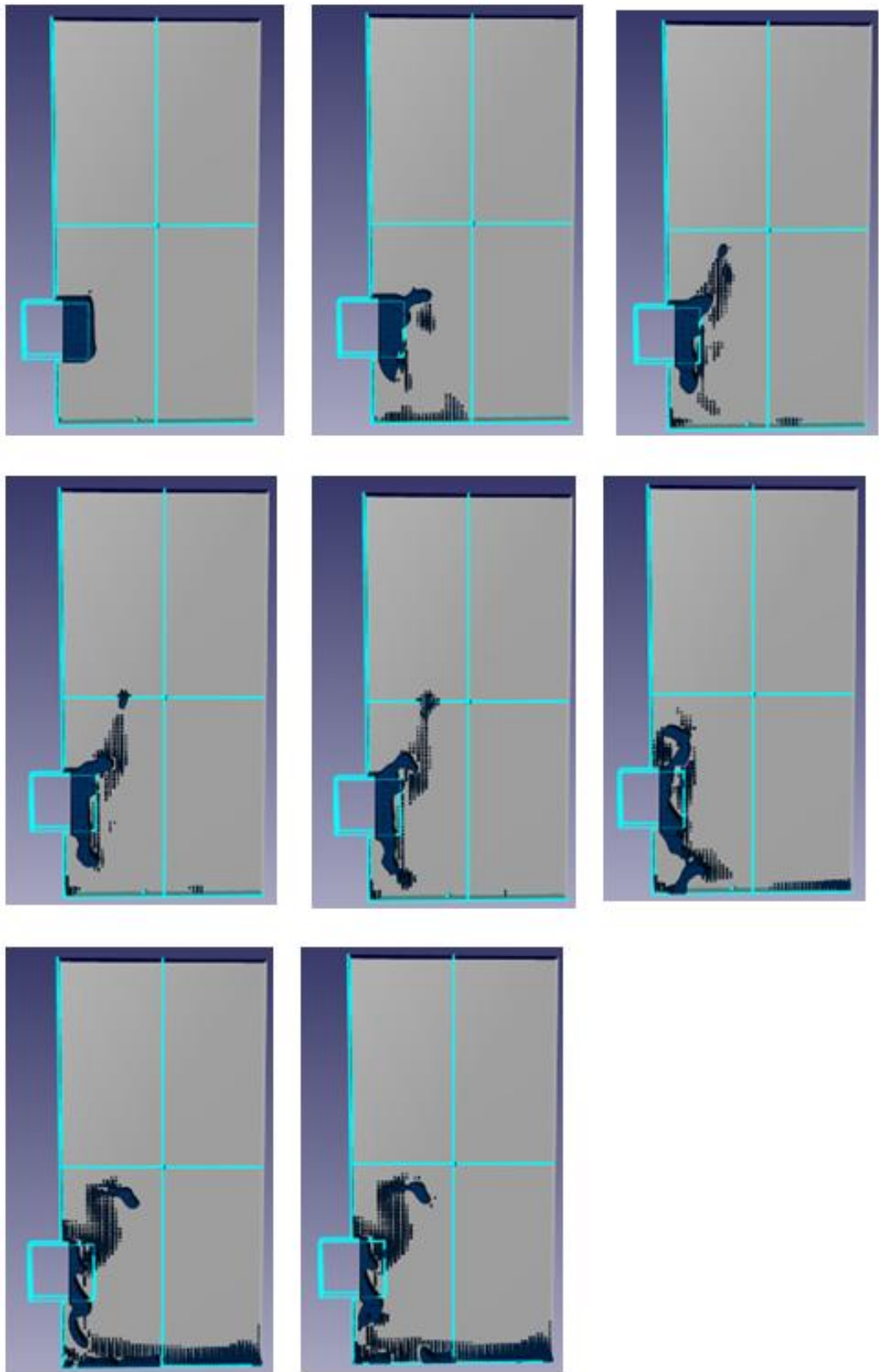


Рис. 2.6. - Поводження струменя нафти при завантаженні в резервуар

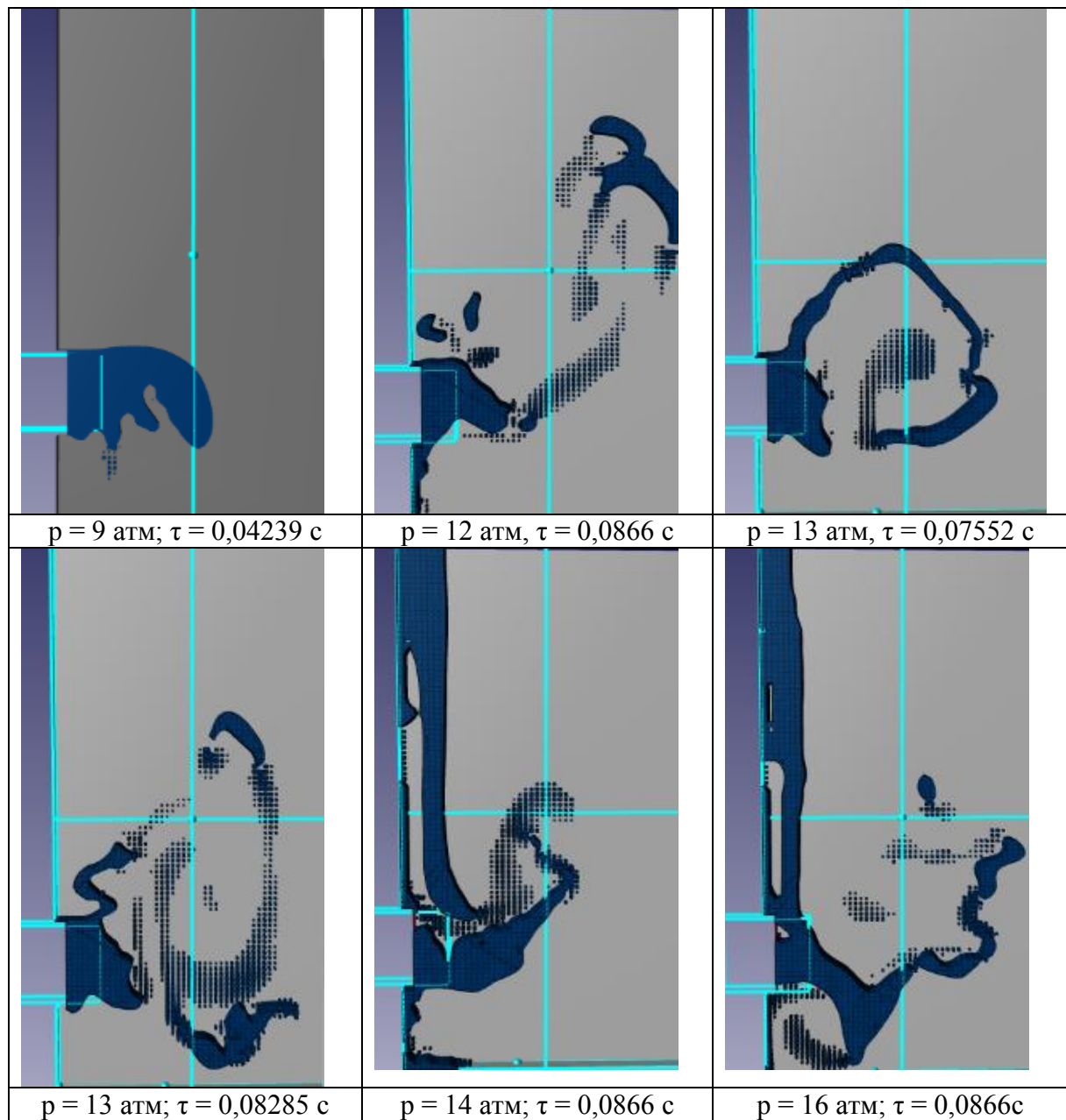


Рис. 2.7. - Поводження струменя нафти при завантаженні в резервуар при різноманітному тиску в трубопроводі

Із отриманих за допомогою програмного комплексу FlowVision результатів (візуалізованих процесів надходження діелектричної рідини в резервуари з різною швидкістю) видно, що при завантаженні вона починає непослідовно заповнювати резервуар, може підніматися по стінках резервуара за рахунок поверхневого натягу, динамічного напору й опору

газового середовища в резервуарі. Залежно від швидкості надходження рідини в резервуар, вона починає розпорошуватися при ударі об газове середовище резервуара через зниження тиску при виході з завантажувального патрубку, а також відбуваються різні вихрєтворні процеси, що призводять до захоплення газової фази потоками рідини і залучення її в об'єм рідини [148]. При цьому здійснюється додаткове утворення ЕЗ і його перерозподіл.

Потік завантажуваної рідини, що піднімається по стінках, призводить до поділу подвійного електричного шару, який присутній на поверхні стінок резервуара. Даний подвійний діелектричний шар до завантаження знаходився в стані рівноваги. При русі зарядженої рідини одна з обкладок подвійного шару залишається на стінці резервуара, а інша, що несе певний заряд, захоплюється рухомою рідиною і переходить в її об'єм.

Після поділу поверхонь контакту спостерігається рекомбінація зарядів за рахунок електропровідності й іонних процесів в кожному з об'єктів: НП і стінці резервуара. При малих швидкостях надходження НП швидкість руху рідини по стінці невелика і швидкість поділу подвійного електричного шару, відповідно, також невелика. У пристінній області рекомбінація заряду стінки йде, в основному, за рахунок електропровідності. При високих поверхневих опорах (випадок наявності відкладень), в тому числі тих, що містять сірку, рекомбінація заряду відбувається також за рахунок газорозрядних процесів.

Причому щільність зарядів на поверхнях сп після поділу шарів рідини можна визначити за залежністю (2.8)

$$\sigma_{\Pi} = \sigma_c - (I_{\text{гр}} \cdot \tau_{\text{кат}} + I_{\text{оо}} \cdot \tau_{\text{іон}}), \text{ Кл / м}^2, \quad (2.8)$$

де σ_c - щільність заряду подвійного електричного шару до поділу поверхонь, Кл/м²; $I_{гр}$ - струм, обумовлений газовим розрядом у зазорі при поділі подвійного електричного шару, А; I_{oo} - струм, обумовлений омичним опором поверхні, А; $\tau_{кат}$ і $\tau_{іон}$ - час релаксації катафоричних та іонних зарядів від відповідних їм процесів.

2.4. Аналіз розподілу швидкостей та тиску в резервуарі при завантаженні в резервуари вертикального типу

Відомо [149], що кінетична енергія струменя на виході з труби не встигає повністю розсіятися до протилежної стінки, створюючи на цій стіні область підвищеного тиску рис. 2.8, що і призводить до утворення додаткових завихрень і формування поля тиску. Це, в свою чергу, утворює при русі цих шарів перешкоду для релаксації зарядів всіх видів і утворення додаткового електростатичного заряду, в об'ємі резервуара, який може виноситися на поверхню.

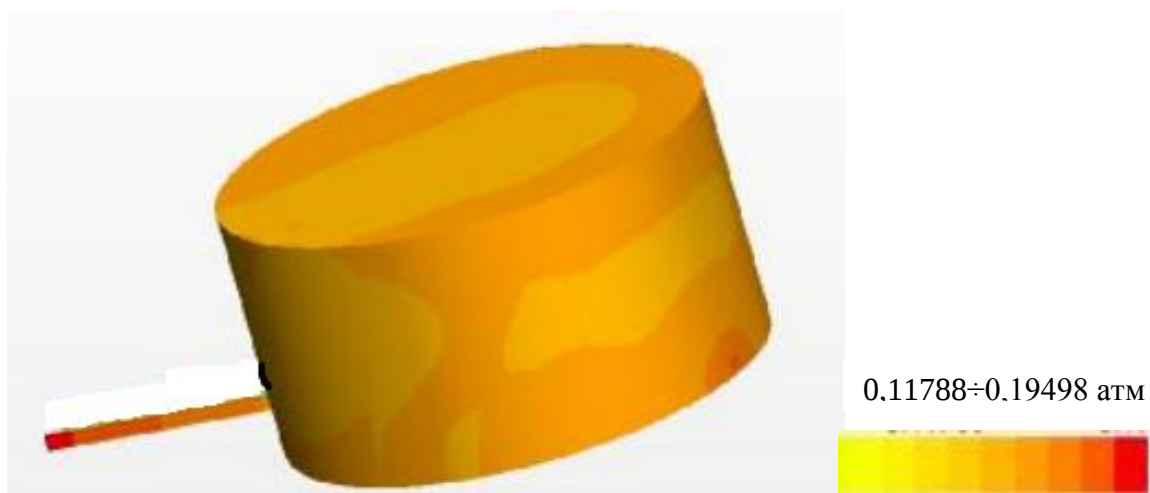


Рис. 2.8. - Поле тисків в резервуарі

Зі збільшенням швидкості надходження НП і, відповідно, руйнування подвійного електричного шару, зростає величина заряду, що

залишився на поверхнях рідини після їх поділу. Отже, чим інтенсивніше ведеться процес, тим більший заряд залишиться на поверхні і перейде в об'єм рідини, тим більша ймовірність виникнення розряду, який може привести до розряду з достатньою для загоряння потужністю.

Під швидкістю надходження ГР ховаються численні процеси, які відбуваються безпосередньо в самому резервуарі, але чітко не визначені. На рис. 2.9. представлено поле швидкостей у резервуарі, виконане з використанням програми Solidworks [149].

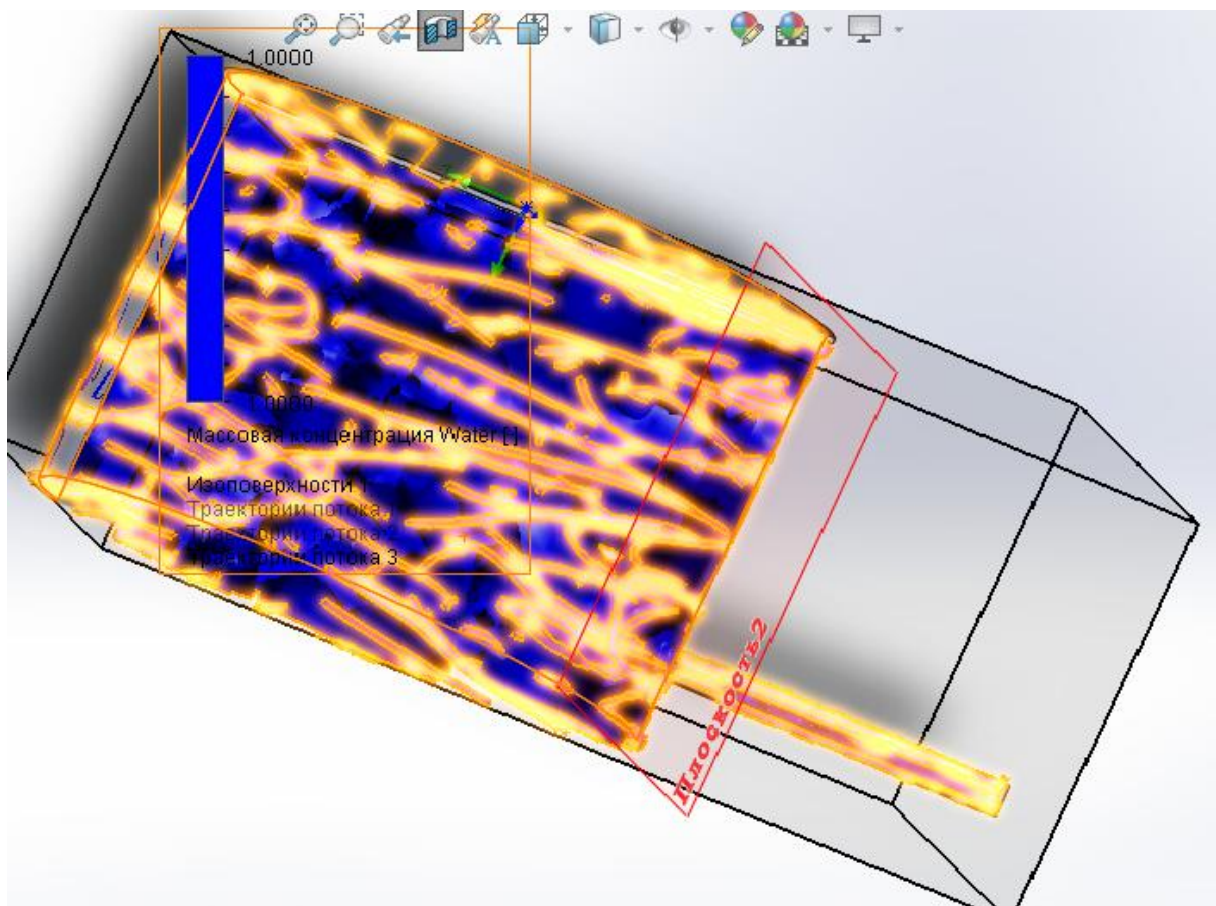


Рис. 2.9. - Вертикальний розріз із полями швидкостей у заповнюваному резервуарі, $V = 25 \text{ м}^3$

Аналіз рисунку показує, що є області з високими швидкостями і області з низькими швидкостями, що повністю узгоджується з

результатами по руху рідини, отриманими в програмах STAR CCM + User Guide 6_02 і FlowVision, з яких видно, що рух в резервуарі складний, вихровий і може істотно впливати на генерацію додаткового електростатичного заряду у резервуарі і перешкоджати релаксації внесеного заряду.

Не розкриття механізмів процесів, що відбуваються в резервуарі при його завантаженні, а розгляд тільки легко вимірюваного параметра - швидкості руху рідини в трубопроводі - спостерігається у всіх авторів [56; 58; 121], у той час, як ситуація дещо інша (рис. 2.10).

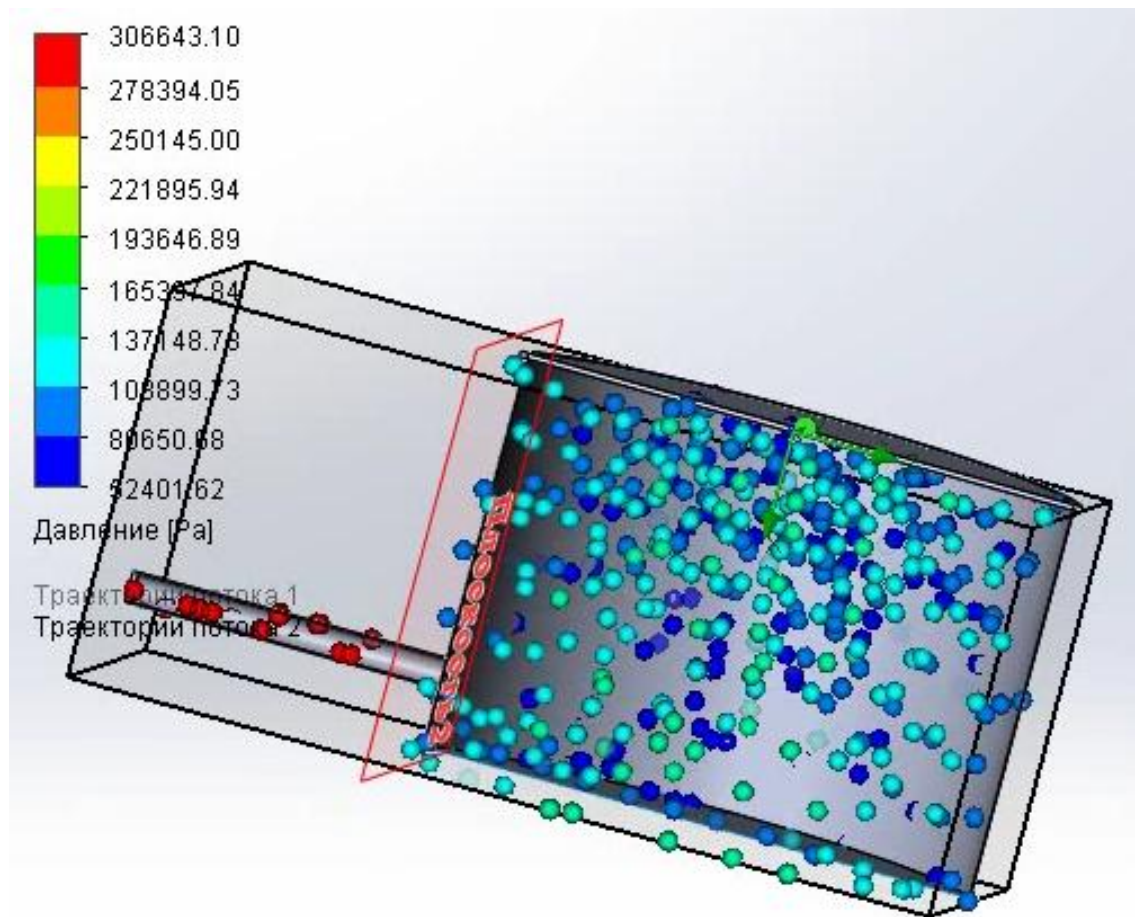


Рис. 2.10. - Миттєві швидкості окремих потоків всередині заповнюваного резервуара (виконано в програмі Solidworks): об'єм резервуара 22 м^3

Аналіз рисунку показує, що швидкості можуть відрізнятися більше, ніж на 200%. Таким чином, встановлено, що при завантаженні діелектричних рідин до резервуару відбувається не послідовне, ламінарне заповнення рідиною шар за шаром, а йде хвилеподібний, з різними швидкостями рух окремих елементарних потоків рідини одна відносно одної.

2.5. Висновки

1. Проведено моделювання процесу заповнення ГР і ЛЗР у резервуарі. Встановлено, що у разі частково заповненого резервуара, при заповненні, там протікають процеси завихрення, краплеутворення, хвилеутворення і натікання на стінки резервуара і, чим менше висота рівня рідини (заповнення) резервуара, тим інтенсивніше відбуваються дані процеси, причому величина збурень зменшується зі збільшенням маси і, відповідно, інерційності системи при гідравлічному тиску і ударі.

2. Показано, що при завантаженні резервуару шар рідини, що піднімається змиває, захоплює заряди аналогічно процесам, які протікають всередині трубопроводу, і виносить наявний на стінках резервуара заряд на поверхню рідини, що викликає збільшення величини ЕЗ.

3. Встановлено, що при завантаженні діелектричних рідин у резервуар відбувається не послідовне, ламінарне заповнення рідиною шар за шаром, а йде хвилеподібний, з різними швидкостями рух окремих елементарних потоків рідини одна відносно одної. При цьому швидкості можуть відрізнятися більше ніж на 200%.

4. Встановлено, що при заповненні резервуара ГР на поверхні ГР утворюється турбулентність, яка призводить до захоплення повітряних мас, утворення піни і, відповідно, появи додаткового заряду СЕ.

5. У результаті моделювання встановлено, що кінетична енергія струменя на виході з труби не встигає повністю розсіятися до протилежної стінки, утворюючи на цій стінці область підвищеного тиску, що і призводить до утворення додаткових завихрень і формуванню поля тиску. Це, в свою чергу, утворює, при русі цих шарів, перешкоду для релаксації зарядів всіх видів і утворення додаткового електростатичного заряду в об'ємі резервуара, який може виноситися на поверхню.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ВІД РОЗРЯДІВ СТАТИЧНОЇ ЕЛЕКТРИКИ ПРИ НАПОВНЕННІ РЕЗЕРВУАРІВ

Резервуари з ГР і ЛЗР при заповненні завжди мають вільний об'єм, в якому може в певні моменти часу утворитися вибухонебезпечна суміш. У результаті дифузії і конвективних потоків пари над дзеркалом випаровування утворюють приблизно однакові концентрації в різних точках повітряного простору резервуара [151].

При виникненні розряду статичної електрики, що відповідає мінімальній енергії займання парів, виникає горіння суміші небезпечної речовини і повітря, яке носить вибуховий характер. Під час вибуху бензино-повітряних сумішей у закритих резервуарах надлишковий тиск може досягати 1,0 МПа [152], що призводить до пошкодження і руйнування резервуарів, сприяючи швидкому поширенню пожежі.

Тому важливо оцінити величину ЕЗ, що виникає при заповненні резервуарів ГР, і можливу потужність електростатичного розряду, який формується генеруючим ЕЗ.

Можливість виникнення пожежі в результаті розрядів СЕ - явище імовірнісне, так як обумовлюється необхідністю одночасного збігу двох випадкових чинників:

- розряду СЕ, потужність якого дорівнює або перевищує мінімальну енергію запалювання;
- наявність концентрації парів горючих рідин у суміші з повітрям, що знаходяться в концентраційних межах поширення горіння.

Щоб запобігти пожежі та вибуху, необхідно усунути одну з двох умов вибуху, утворення іскри або вибухонебезпечного середовища. Так як

вибухонебезпечне середовище при технологічних операціях із легкозаймистими рідинами усунути досить складно, закономірно йти шляхом ліквідації розрядів ЕЗ, а саме: відводити статичну електрику, забезпечуючи релаксацію ЕЗ різними способами, або знижувати можливість генерації статичної електрики.

3.1. Залежність величини електростатичного заряду на поверхні горючої рідини від часу знаходження потоку в об'ємі рідини

Відомо [153], що релаксація (зменшення) об'ємного заряду в діелектрику протікає відповідно до експонентного закону

$$q_{\tau} = q_{\text{ст}} \cdot e^{-k \cdot \tau}, \quad (3.1)$$

де q_{τ} - об'ємний електростатичний заряд, релаксуючий протягом часу τ , Кл/м³; $q_{\text{ст}}$ - вихідний об'ємний електростатичний заряд, Кл/м³; k - коефіцієнт пропорційності, с⁻¹; τ - час, протягом якого відбувається зміна (зменшення) заряду, с.

Коефіцієнт пропорційності k є величиною постійною, якщо не змінюється площа поверхні, з якої витікає нафта заряду. У разі завантаження рідини в резервуар, площа поверхні резервуара, що контактує з рідиною, стає дедалі більше, її збільшення залежить від швидкості завантаження рідини в резервуар, тобто коефіцієнт пропорційності k також є змінною величиною.

Вважаючи, що повний заряд, внесений в резервуар за весь час завантаження, дорівнює

$$Q_{нов} = q_V \cdot V_{рід} , \quad (3.2)$$

де $Q_{пов}$ - повний об'ємний ЕЗ, внесений в резервуар з потоком рідини, Кл;
 q_V - щільність об'ємного ЕЗ, що надходить в резервуар з трубопроводу, Кл /
 $м^3$; $V_{рід}$ - об'єм горючої рідини, що надійшов в резервуар, $м^3$.

Обсяг рідини, що надійшов у резервуар дорівнює

$$V_{рід} = \tau_{проц} \cdot Q_{гор.рід}, \quad (3.3)$$

де $\tau_{проц}$ - час з початку процесу заповнення резервуара, с; $Q_{гор.рід}$ - витрата
горючої рідини, $м^3/с$; $Q_{гор.рід} = S_{тр} \cdot v_0$; $S_{тр}$ - площа перерізу труби, $м^2$;
 $S_{тр} = \pi \cdot r_0^2$; r_0 - радіус трубопроводу, м; v_0 - швидкість потоку рідини в
трубопроводі, м/с.

З урахуванням (3.2) та (3.3) отримаємо

$$Q_{нов} = q_V \cdot \tau_{проц} \cdot \pi \cdot r_0^2 \cdot v_0. \quad (3.4)$$

Тоді, виходячи з рівняння (3.1) і (3.4), можна отримати величину
повного об'ємного заряду (3.5), що знаходиться в резервуарі в момент
часу τ

$$Q_V = q_V \cdot \tau_{проц} \cdot \pi \cdot r_0^2 \cdot v_0 \cdot e^{-k_s \cdot \tau_{проц}}, \quad (3.5)$$

де Q_V - повний об'ємний ЕЗ у момент часу $\tau_{проц}$, Кл; k_s - коефіцієнт
пропорційності, $с^{-1}$, який є інтегральною змінною величиною, зростає зі
збільшенням площі контакту рідини з заземленою поверхнею.

Для вертикального резервуара коефіцієнт k_s можна визначити за залежністю (2.4), вважаючи, що величина заряду, витікає з одиниці поверхні, є величиною постійною і не залежить від місця приєднання заземлювального кабелю і знаходження його над рівнем землі

$$k_s = k_{\text{пит}} \cdot \int_0^{\tau} \left(\pi r_{\text{рез}}^2 + \frac{2S_{\text{тр}} \cdot v \cdot \tau_{\text{проц}}}{r_{\text{рез}}} \right) d\tau, \quad (3.6)$$

де $k_{\text{пит}}$ - величина заряду носіїв іонної провідності, релаксуючих з одиниці площі, Кл/ м²; $k_{\text{пит}}$ може змінюватися від 0,05 Кл/м² до 3 Кл/м², в залежності від ізолюючого шару, що утворюється на внутрішній поверхні резервуара, так як стінки резервуара з плином часу покриваються корозією, на яких відбувається відкладення смолистих і сірковмісних сполук різної провідності; $r_{\text{рез}}$ - радіус вертикального резервуара, м; $S_{\text{тр}}$ - площа перерізу трубопроводу, м²; v - кінематична в'язкість рідини, м²/с; $\tau_{\text{проц}}$ - час від початку заповнення резервуара, с.

У [53] пропонується визначати заряд, що виноситься струменем рідини на поверхню, у наступному вигляді

$$Q_{\text{вих}} = \frac{I}{\pi \cdot r_0^2 \cdot v_0} \cdot e^{-\frac{t_3}{\tau_{\text{const}}}}, \quad (3.7)$$

де $Q_{\text{вих}}$ - заряд, що виноситься рідиною на поверхню резервуара, Кл; I - струм електризації, А; t_3 - повний час руху струменя до виходу на поверхню рідини, с; τ_{const} - постійна часу релаксації, с.

Якщо підставити вираз (1.6) у (3.7), то отримаємо

$$Q_{\text{вих}} = \frac{Q_V \cdot S \cdot v_0}{\pi \cdot r_0^2 \cdot v_0} \cdot e^{-\frac{t_3}{\tau_{\text{const}}}} = Q_V \cdot e^{-\frac{t_3}{\tau_{\text{const}}}}. \quad (3.8)$$

Із виразу (3.8) випливає, що для зниження величини поверхневого заряду необхідно спеціальними заходами збільшувати час виходу струменя рідини на поверхню.

Із (3.8) повний час руху струменя в об'ємі рідини до виходу на поверхню рідини в резервуарі дорівнює

$$t_3 = \tau_{\text{const}} \cdot \ln \frac{Q_V}{Q_{\text{вих}}}. \quad (3.9)$$

Безпосереднє використання даного математичного виразу можливе тільки в тому випадку, коли в резервуарі не відбувається утворення додаткового заряду, крім того, який надходить в резервуар з рідиною. Наявність обертального, турбулентного руху рідини і рух по стінках резервуара має місце.

3.2 Аналіз можливості займання парів вуглеводневої рідини електростатичною іскрою від зарядженої краплі

При завантаженні різних НП в резервуари відбувається інтенсивне утворення крапель, розмір і заряд яких залежить від багатьох факторів, таких як: швидкість руху вуглеводневої рідини по трубопроводу, питомий опір діелектричної рідини, форма резервуара, рівень рідини над завантажувальним патрубком тощо.

Визначимо теоретично, можливо утворення крапель вуглеводневої рідини і, якщо можливе, то якого діаметру і якої величини цього заряду достатньо для виникнення іскрового розряду між окремими краплями або краплею і стінкою резервуара, що призводить до займання парів вуглеводневої рідини при проведенні завантажувальних операцій.

Нехай є заряджена крапля. Припустимо, що відбувається розряд між зарядженої краплею вуглеводневої рідини і стінкою резервуара, потенціал якої приймемо рівний $\varphi = 0$, або інший, що не має заряду краплею. Енергію іскри (W_{ic} , Дж), здатної виникнути під дією різниці потенціалів, можна оцінити по запасеному таким «конденсатором» енергією. Однак точне значення енергії іскри таким чином розрахувати не можна, так як тільки частина накопиченого заряду на розділених поверхнях може використовуватися в розряді.

Визначення фактично виділеної енергії при розряді становить значні труднощі, так як заряджені краплі вуглеводневого діелектрика мають нееквіпотенціальні поверхні; крім того, зазвичай, невідома й їх поверхня. В цьому випадку енергію електростатичного розряду можна визначити наближено, прийнявши у формулі (1.3) замість змінної $\Delta\varphi$ максимальний потенціал на діелектричній поверхні, розрахований за пробивною відстанню для даних заряджених частинок.

Приймемо, що в парах вуглеводневих заряджених крапель є різко неоднорідне поле. Припустимо, що краплі мають сферичну форму, тоді напруженість поля окремої краплі буде дорівнювати

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 \cdot r^2}. \quad (3.10)$$

Прийнявши напруженість поля, яка дорівнює $4 \cdot 10^2$ кВ / м, діаметр краплі - значення від 0,01 мкм до 10000 мкм, розрахуємо величину заряду краплі, Кл (таблиця 3.1, стовпчик 3) і енергію розряду даної краплі, Дж (таблиця 3.1, стовпчик 2).

Таблиця 3.1.

Розрахункові величини заряду і потужності окремої краплі

Діаметр краплі, мкм	Енергія розряду, Дж	Заряд краплі, розрахований за залежністю, Кл		
		(3.10)	(2.11)	(3.14)
1	2	3	4	5
0,01	$8,89 \cdot 10^{-36}$	$4,44 \cdot 10^{-21}$	$2,49 \cdot 10^{-11}$	$4,18 \cdot 10^{-26}$
0,06	$1,92 \cdot 10^{-33}$	$1,60 \cdot 10^{-19}$	$6,11 \cdot 10^{-11}$	$9,04 \cdot 10^{-24}$
0,5	$1,11 \cdot 10^{-30}$	$1,11 \cdot 10^{-17}$	$1,76 \cdot 10^{-10}$	$5,23 \cdot 10^{-21}$
1	$8,89 \cdot 10^{-30}$	$4,44 \cdot 10^{-17}$	$2,49 \cdot 10^{-10}$	$4,18 \cdot 10^{-20}$
10	$8,89 \cdot 10^{-29}$	$4,44 \cdot 10^{-15}$	$7,89 \cdot 10^{-10}$	$4,18 \cdot 10^{-17}$
100	$8,89 \cdot 10^{-24}$	$4,45 \cdot 10^{-12}$	$2,49 \cdot 10^{-9}$	$4,18 \cdot 10^{-14}$
500	$1,11 \cdot 10^{-21}$	$1,11 \cdot 10^{-11}$	$5,58 \cdot 10^{-9}$	$5,23 \cdot 10^{-12}$
1000	$8,89 \cdot 10^{-21}$	$4,44 \cdot 10^{-11}$	$7,89 \cdot 10^{-9}$	$4,18 \cdot 10^{-11}$
2000	$7,11 \cdot 10^{-20}$	$1,77 \cdot 10^{-10}$	$1,12 \cdot 10^{-8}$	$3,34 \cdot 10^{-10}$
3000	$2,40 \cdot 10^{-19}$	$4,00 \cdot 10^{-10}$	$1,37 \cdot 10^{-8}$	$1,13 \cdot 10^{-9}$
4000	$5,69 \cdot 10^{-19}$	$7,11 \cdot 10^{-10}$	$1,58 \cdot 10^{-8}$	$2,67 \cdot 10^{-9}$
8000	$4,55 \cdot 10^{-18}$	$2,84 \cdot 10^{-9}$	$2,23 \cdot 10^{-8}$	$2,14 \cdot 10^{-8}$
8200	$4,90 \cdot 10^{-18}$	$2,98 \cdot 10^{-9}$	$2,26 \cdot 10^{-8}$	$2,30 \cdot 10^{-8}$
9000	$6,48 \cdot 10^{-18}$	$3,60 \cdot 10^{-9}$	$2,37 \cdot 10^{-8}$	$3,05 \cdot 10^{-8}$
10000	$8,89 \cdot 10^{-18}$	$4,44 \cdot 10^{-9}$	$2,49 \cdot 10^{-8}$	$4,18 \cdot 10^{-8}$

Із наведених у таблиці 3.1 розрахунків видно, що до розміру краплі, що дорівнює 0,06 мкм, на краплі досить мати надлишок усього одного електрона для створення напруженості, яка дорівнює критичній у сильно неоднорідному полі. При цьому, розряд буде мати потужність, якої не достатньо для виникнення полум'я.

Крім того, з даних, представлених в третьому стовпчику таблиці 3.1, видно, що той мінімальний заряд, який створює необхідну напруженість поля для розряду, невеликий за потужністю, проте він достатній для пробивання в газовому середовищі і створення коронних розрядів. Причому можна припустити, що кількість цих окремих коронних розрядів буде значною.

Розрахунок заряду, який повинні мати краплі різних діаметрів, виходячи з розміру мінімальної енергії запалювання парів вуглеводневих рідин, наведено нижче.

Мінімальна енергія запалювання, як і інші характеристики пожежо вибухонебезпечності речовин, що обертаються у виробництві, визначається згідно з чинним стандартом [124]. Приймемо, що для виникнення полум'я необхідна мінімальна енергія запалювання, що дорівнює енергії запалювання метану 0,28 мДж, так як метан має найбільшу енергію займання серед газів (пропан, бутан, гептан, гексан тощо), які можуть міститися в паровій фазі над ВВДР. При з'єднанні двох крапель енергію розряду можна вирахувати з виразу, вважаючи, що весь заряд перейде в енергію розряду

$$W' = W_1 + W_2, \quad (3.11)$$

де W' - енергія розряду двох крапель, Вт;

W_1 і W_2 - енергія зарядів першої і, відповідно, другої краплі, Вт.

Енергію заряду кожної краплі W_i можна визначити за виразом [131]

$$W_i = \frac{q^2}{8\pi\epsilon_0 \cdot r}, \quad (3.12)$$

де q - заряд краплі, Кл; ϵ_0 - електрична постійна, Ф / м; r - радіус окремої краплі, м.

Тоді величина заряду окремої краплі (Кл) буде дорівнювати

$$q = \sqrt{W \cdot 8\pi \cdot \epsilon_0 \cdot r}. \quad (3.13)$$

Значення заряду окремої краплі різних діаметрів, розраховані за формулою (3.13) при $W = 0,28$ мДж, наведені в таблиці 3.1 (стовпчик 4).

Із таблиці 3.1 видно, що величина заряду для отримання розряду потужності не менше 0,28 мДж для крапель різного розміру, становить від $2,49 \cdot 10^{-11}$ Кл (крапля радіусом 0,01 мкм) до $2,49 \cdot 10^{-8}$ Кл (для краплі з радіусом 10 мм).

Щільність заряду, що надходить у резервуар з НП, за даними [23], коливається в інтервалі $10^{-8} - 10^{-12}$ Кл/см³. Тоді, прийнявши, що весь заряд розподіляється рівномірно по утворених краплях в залежності від їх об'єму, можна визначити максимальний заряд, яким будуть володіти дані краплі, з виразу

$$q = V_{\text{каплі}} \cdot \sigma = 4/3 \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \sigma, \quad (3.14)$$

де $V_{\text{каплі}}$ - обсяг окремої краплі, м³; σ - об'ємна щільність заряду, внесеного в резервуар, дорівнює 10^{-2} Кл / м³; r - радіус краплі, м.

Отримані значення заряду наведено в таблиці 3.1 (стовпчик 5). Із них видно, що, починаючи з радіуса вуглеводневої краплі, який дорівнює 8,2 мм, можливе утворення розряду, потужність якого буде достатньою для займання парів вуглеводневої рідини.

3.3. Оцінка часу релаксації

Для визначення пожежовибухобезпечного стану в паровому просторі резервуара необхідно визначити час релаксації потрапляючого і формуємого в процесі завантаження в резервуар об'ємного ЕЗ, що виноситься на поверхню рідини і створює її поверхневий ЕЗ. Чим більше час релаксації (наприклад, становить кілька хвилин), тим більш тривалий час є ймовірність займання парів завантажуваної вуглеводневої горючої рідини.

На сьогоднішній день більшістю дослідників чітко доведено, що струм електризації в трубопроводі залежить від швидкості руху діелектричної рідини лише в деякій мірі. З огляду на те, що швидкість руху в локальних місцях і окремих цівок рідини сильно варіює, на поверхні рідини, саме в тому місці, де вона стикається з окислювачем, можливий винос різноманітних величин заряду, які і формують поверхневий заряд, у тому числі такого, що перевищує допустимі критичні величини.

Тому однією з величин, які характеризують пожежонебезпеку процесів, що протікають в резервуарі, є величина, яку називають часом релаксації.

Визначення часу релаксації наведено в [153], де сказано, що «проміжок часу, необхідний для того, щоб заряд в будь-якій точці ГР

(діелектрика) зменшився до $1/e$ від своєї початкової величини, називається часом релаксації». Час релаксації визначається за формулою

$$\tau_{const} = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0}{\varkappa}. \quad (3.15)$$

де τ_{const} - постійна часу релаксації (багато авторів називають цю величину часом релаксації), с; ε - відносна діелектрична проникність рідини; $\varkappa$ - питома електропровідність середовища, $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$.

Формула (3.15), введена Дж. Стреттон, визначає заряд у діелектрику, що з'являється при поміщенні його в зовнішнє електричне поле, за рахунок таких механізмів, як електронна поляризація, іонна поляризація, дипольна релаксаційна поляризація. Дж. Стреттон вказує, що «у всіх, навіть поганих, провідниках τ_{const} надзвичайно мала. Так у морській воді час релаксації близько $2 \cdot 10^{-10}$ с »[153].

Час релаксації ЕЗ (об'ємного або поверхневого) – це час, необхідний для досягнення безпечної концентрації об'ємного або поверхневого заряду в рідині, розрахований відповідно до

$$\tau_{\text{рел}} = \frac{\ln \frac{q_{\text{поч}}}{q_{\text{без}}}}{k_{\text{рел}}} = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \ln \frac{q_{\text{поч}}}{q_{\text{без}}}}{\varkappa}, \quad (3.16)$$

де $q_{\text{поч}}$ - заряд, наявний в рідині при потраплянні до резервуару, Кл/м^3 ; $q_{\text{без}}$ - безпечна величина заряду, що не призводить до виникнення розряду на поверхні рідини, Кл/м^3 ; $k_{\text{рел}}$ - константа часу релаксації, с^{-1} ; $\varkappa$ - питома електропровідність середовища, $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$.

Константа часу релаксації – це величина, яка визначається за виразом

$$k_{\text{рел}} = \alpha / (\epsilon_0 \cdot \epsilon), \quad (3.17)$$

Шари рідини, які знаходяться навіть на малих відстанях від стінки трубопроводів, не обов'язково релаксують, так як напрям руху миттєвих швидкостей елементарних цівок рідини може не забезпечити контакту даної зарядженої частинки зі стінкою резервуара для її розряду і винести заряджену частинку в об'єм (на поверхню) резервуара.

Переносники електростатичного заряду (заряджені частинки) в ГР представлені іонами. Іонами можуть бути електрично заряджені атоми, молекули, радикали або більші утворення [53]: несуть заряд міцели, іонофори й іоногени. У неполярних і слабополярних рідких діелектриках (мінеральні масла, світлі і темні НП) електропровідність визначається домішками, а в разі, якщо домішки мають достатні розміри, їх електропровідність має тип, званий в літературі як катафоричний [154]. Механізм розряду великорозмірних іонів не відповідає розряду вільних електронів, тому при визначенні часу релаксації є великі невідповідності між теорією і експериментальними результатами.

У [154] зазначено, що «... ми зустрічаємося з двома основними механізмами електропровідності рідких діелектриків: електропровідністю іонної і електропровідністю катафоричною, обумовленою впорядкованим рухом колоїдних частинок».

Вихідний об'ємний ЕЗ, внесений у резервуар, включає як заряд, сформований носіями іонної провідності, так і носіями катафоричної провідності

$$Q_{\text{вих}} = Q_{\text{іон}} + Q_{\text{кат}}, \quad (3.18)$$

де $Q_{\text{іон}}$ - заряд, сформований носіями іонної провідності, Кл;

$Q_{\text{кат}}$ - заряд, сформований носіями катафорические провідності, Кл.

Струм заряджання від домішок і власної електропровідності, визначається за виразом

$$I_{\text{іон}} = q_{\text{іон}} \cdot S_{\text{тр}} \cdot v, \quad (3.19)$$

де $q_{\text{іон}}$ - об'ємна щільність заряду, що забезпечує іонну провідність, Кл / м³; $S_{\text{тр}}$ - площа перерізу трубопроводу, м²; v - швидкість руху рідини в трубопроводі, м/с.

Загальний заряд, внесений іонами, що забезпечує власну і домішкову електропровідність з урахуванням (3.18), за час завантаження резервуара дорівнює

$$Q_{\text{іон}} = I_{\text{іон}} \cdot \tau_{\text{проц}} = q_{\text{іон}} \cdot S \cdot v \cdot \tau_{\text{проц}}, \quad (3.20)$$

де $\tau_{\text{проц}}$ - надходження рідини в резервуар, с.

Катафорична електропровідність визначається кількістю полімолекулярних агрегатів, які утворюються при різних процесах, наприклад, при старінні НП і природної полімеризації, при прогріванні НП і утворенні різних смолистих агрегатів, при включенні емульгованої води, при наявності сумішей НП і тощо. Колоїдні частинки, крім того, можуть адсорбувати вільний іон того чи іншого знака, внаслідок чого і набувають відповідного заряду [154]. Будова полімолекулярних агрегатів,

відповідальних за катафоричну провідність, подібна будові колоїдної частинки, що має внутрішній (адсорбційний) і зовнішній (дифузний) шари. Кількість утворених іонів, що формують катафоричну провідність, безпосередньо залежить від швидкості потоку рідини.

Кожен із перелічених видів іонів, які забезпечують виникнення ЕЗ у рухомому потоці діелектричної рідини, матиме свій власний час релаксації. Причому, якщо нейтралізувати іони, що утворилися в результаті дисоціації домішок або молекул НП, можна за допомогою заземлення, то розсіювання і нейтралізація катафоричного заряду залежить від часу формування зовнішнього дифузійного шару, який нейтралізує заряд колоїдних частинок.

Відповідно заряд, внесений зарядженими частинками, що забезпечують катафоричну провідність в резервуар, дорівнює

$$Q_{\text{кат}} = q_{\text{кат}} \cdot S \cdot v \cdot \tau_{\text{проц}} = q_{\text{од}} \cdot n_0 \cdot S \cdot v \cdot \tau_{\text{проц}}, \quad (3.21)$$

де $q_{\text{кат}}$ - об'ємна щільність заряду, що забезпечує катафоричну провідність, Кл/м³; $q_{\text{од}}$ - величина заряду одиничного іона, Кл.

Катафоричну електропровідність можна визначити з виразу [172 154]

$$\kappa_{\text{кат}} = r \cdot n_0 \cdot \frac{\varepsilon^2 \xi^2}{6\pi \cdot \nu}, \quad (3.22)$$

де r - радіус полімолекулярної частки, що несе заряд, м; n_0 - число заряджених колоїдних частинок в 1 м³ рідини; ε - діелектрична проникність рідини; ξ - електрокінетичний потенціал, В; ν - кінематична в'язкість рідини, м²/с.

Якщо за час релаксації $\tau_{\text{рел}}$ будемо вважати час, необхідний для досягнення безпечної концентрації об'ємного або поверхневого ЕЗ в рідині, то його можна визначити як

$$\tau_{\text{рел}} = \frac{\ln \frac{q_{\text{вих}}}{q_{\text{без}}}}{k_{\text{рел}}} = \frac{\ln \frac{q_{\text{вих}} \cdot V_{\text{ж}}}{q_{\text{без}} \cdot V_{\text{ж}}}}{k_{\text{рел}}} = \frac{\ln \frac{Q_{\text{вих}}}{Q_{\text{без}}}}{k_{\text{рел}}} = \frac{\varepsilon \cdot \varepsilon_0 \cdot \ln \frac{Q_{\text{вих}}}{Q_{\text{без}}}}{\alpha}, \quad (3.23)$$

де $V_{\text{ж}}$ – обсяг рідини, що надійшла в резервуар, м^3 ; $Q_{\text{вих}}$ - ЕЗ, що знаходиться в об'ємі рідини при потраплянні до резервуару, Кл; $Q_{\text{без}}$ - безпечна величина ЕЗ, що не призводить до виникнення пожежонебезпечних розрядів на поверхні рідини, Кл; $k_{\text{рел}}$ - константа часу релаксації, с^{-1} ; ε - діелектрична проникність вуглеводневої рідини; ε_0 - електрична постійна, Ф/м ; α - питома електропровідність ГР, $\text{Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$.

Так як «... в якості гранично допустимого приймається таке значення щільності заряду, при якому ймовірність виникнення розряду з енергією, що дорівнює 0,25 найменшої з мінімальних енергій запалювання сумішей цих парів і газів з повітрям, не перевищує 10^{-3} » [155], то для визначення гранично допустимого (безпечного) значення щільності заряду використовуємо

$$q_{\text{без}} = 9 \cdot 10^{-10} \cdot W_{\text{min}}^{1/4} \cdot e^{\frac{-\varphi}{4}}, \quad (3.24)$$

де W_{min} - мінімальна енергія запалювання середовища над поверхнею ВВДР, Дж; $9 \cdot 10^{-10}$ - емпіричний коефіцієнт, Кл / $(\text{Дж}^{0,25} \cdot \text{м}^3)$; φ - безрозмірний коефіцієнт.

Із урахуванням (3.23) та (3.24) отримаємо час релаксації

$$\begin{aligned}
\tau_{\text{рел}} &= \frac{\ln \frac{Q_{\text{вих}}}{Q_{\text{без}}}}{k_{\text{рел}}} = \frac{\ln \frac{Q_{\text{вих}} \cdot 10^{10}}{9 \cdot W_{\text{min}}^{0,25} \cdot V_{\text{ж}}} + \frac{\varphi}{4}}{k_{\text{рел}}} = \frac{\ln \frac{(Q_{\text{іон}} + Q_{\text{кат}}) \cdot 10^{10}}{9 \cdot W_{\text{min}}^{0,25} \cdot V_{\text{ж}}} + \frac{\varphi}{4}}{k_{\text{рел}}} = \\
&= \frac{\ln \frac{(q_{\text{іон}} \cdot S \cdot v \cdot \tau_{\text{проц}} + q_{\text{ед}} \cdot n_0 \cdot S \cdot v \cdot \tau_{\text{проц}}) \cdot 10^{10}}{9 \cdot W_{\text{min}}^{0,25} \cdot V_{\text{ж}}} + \frac{\varphi}{4}}{k_{\text{рел}}}, \text{ С.} \quad (3.25)
\end{aligned}$$

Аналіз виразу (3.25) показує, що час релаксації всіх носіїв ЕЗ не залежить від конструкції резервуару, в той час, коли кількість винесених на поверхню катафоричних іонів (більше довгоживучих) залежить від часу перебування їх в об'ємі рідини, протягом якого відбувається відновлення дифузійної оболонки зарядженої колоїдної частинки. Тому для визначення часу релаксації ЕЗ в даному резервуарі і виключення можливості виникнення іскрового розряду, що має енергію, якої достатньо для запалення середовища, пропонуємо враховувати конфігурацію резервуара. Коефіцієнт, що відображає вплив конструкції резервуару на формування небезпечної величини поверхневого ЕЗ, враховує величину площі поверхні стінок резервуара, що безпосередньо контактують в кожен момент часу з рідиною, і величину площі поверхні дзеркала рідини.

Із урахуванням того, що релаксація кожного з двох виділених типів зарядів протікає зі своєю швидкістю, загальний час релаксації заряду в резервуарі буде визначатися найбільш повільно протікаючим процесом релаксації іонних частинок або заряджених колоїдних частинок.

З огляду на зміну площі, з якої витікає нафта, заряду, сформованого носіями іонної провідності (що спостерігається при заповненні резервуара) і, приймаючи, що безпечний заряд складається з величин зарядів всіх видів

іонів, отримуємо час релаксації заряду, внесеного в резервуар носіями іонної провідності

$$\tau_{\text{рел.ион}} = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \left[k_s^{-1} \cdot \ln \frac{q_{\text{ион}} \cdot 10^{10}}{x_i \cdot 9 \cdot W_{\min}^{0,25} + \frac{\varphi}{4}} \right]}{\alpha_{\text{ион}}}, \quad (3.26)$$

де $\tau_{\text{рел.ион}}$ - час релаксації заряду, внесеного в резервуар носіями іонної провідності, с; k_s - коефіцієнт, що враховує площу витоку заряду (площа стінок резервуара, яка має контакт з рідиною); x_i - частка носіїв іонної провідності від носіїв всіх типів зарядів.

Час релаксації заряду, внесеного в резервуар носіями катафоричної провідності, можна визначити як

$$\tau_{\text{рел.кат}} = \frac{k_{\text{кон}} \cdot \ln \frac{Q_{\text{вих.кат}}}{(1-x_i) \cdot Q_{\text{без}}}}{k_{\text{рел.кат}}} = \frac{k_{\text{кон}} \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \left[\ln \frac{q_{\text{кат}} \cdot 10^{10}}{(1-x_i) \cdot 9 \cdot W_{\min}^{0,25} + \frac{\varphi}{4}} \right]}{\alpha_{\text{кат}}}, \quad (3.27)$$

де $\tau_{\text{рел.кат}}$ - час релаксації заряду, внесеного в резервуар носіями катафоричної провідності, с; $k_{\text{кон}}$ - безрозмірний коефіцієнт, що враховує конструкцію резервуара (вертикальний, горизонтальний; еліптичне, конічний, плоске дно) і конструкцію завантажувального патрубку, яка визначає час перебування іонів полімолекулярних агрегатів до виходу на поверхню; $k_{\text{рел.кат}}$ - константа часу релаксації носіїв катафоричної провідності, с⁻¹; $q_{\text{кат}}$ - об'ємна щільність заряду, що забезпечує катафоричну провідність, Кл/м³; $\alpha_{\text{кат}}$ - питома катафорична електропровідність, Ом⁻¹ · м⁻¹; $(1-x_i)$ - частка носіїв катафоричної провідності від носіїв всіх типів зарядів. (Від 1 до 0)

Коефіцієнт $k_{\text{кон}}$ враховує обертальні процеси руху рідини при її завантаженні в резервуар, які залежать як від виду завантажувального патрубку, так і від кривизни днища і швидкості завантаження рідини в резервуар, і встановлюється експериментально для кожного виду резервуара або за допомогою гідродинамічного моделювання.

Дійсний час релаксації, внесеного в резервуар заряду з потоком ГР, дорівнюватиме найбільшому з часів, визначених за рівняннями 3.26 і 3.27.

Інформація про постійну часу релаксації об'ємного заряду рідин використовується для вирішення завдань захисту від статичної електрики. Тому підвищення точності визначення цього параметра необхідно для більш досконалого вирішення завдань безпеки і вибору таких режимів, які забезпечують електростатично безпечне ведення технологічних процесів.

Проведені розрахунки показали відмінність у часі релаксації іонного та катафоричного походження більше ніж на 50%.

3.4. Розробка приймально-роздавального пристрою для вертикальних резервуарів

Як правило, резервуари мають два патрубки: один використовується для введення продукту, що зберігається, інший - для зливу наявної в резервуарі рідини.

При високій продуктивності наповнення і спорожнення резервуара використовують патрубки, які не перешкоджають розсіюванню рідини по вертикалі і швидкого виходу затопленого струменя на поверхню. Вихід затопленого струменя на поверхню рідини в значній мірі активізує масообмінні процеси, що для діелектричних рідин, таких як НП, призводить до виносу небезпечного потенціалу на поверхню, що контактує

з окислювачем (повітрям), і виникнення розрядів, що призводять з високою ймовірністю до займання вуглеводневої рідини. Тому резервуари для наливання в них рідини часто оснащуються приймально-роздавальними пристроями (ПРП).

Вуглеводневі рідини подають до резервуару через ПРП, врізаний в стінку резервуара. Усередині резервуара до приймального патрубку приєднують приймально-роздавальні пристрої різної конструкції: хлопаки, хлопаки з приймально-роздавальною камерою тощо [156 - 158], які складаються з патрубка, який приєднується до приймального патрубка резервуара ПРП, клапана з поворотною кришкою (тарілкою) і механізму управління кришкою клапана, за допомогою якого відкривають (закривають) кришку.

Недоліками приймально-роздавальних пристроїв подібного типу є:

- відносно великий незнімний залишок рідини в резервуарі при відкачці (залежить від діаметра і висоти розташування ПРП над днищем резервуара);

- необхідність забезпечувати низьку швидкість руху рідини в початковий момент заповнення резервуара для забезпечення незагорання від розрядів СЕ (при початку заповнення порожнього резервуара НП повинні подаватися в нього зі швидкістю не більше 1 м/с до моменту затоплення приймально-роздавального патрубка в резервуарі [22]);

- при потраплянні в резервуар газоповітряної пробки з підвідних трубопроводів ці гази швидко підіймаються на поверхню рідини, утворюючи газорідні фонтани, що сприяють додатковому виникненню розрядів СЕ.

Час перебування струменя рідини є визначальним фактором, що забезпечує релаксацію об'ємного статичного заряду в рідині [159].

Відомо про пристрій [160, 161] для наповнення і спорожнення резервуара, що має перехідник криволінійного профілю, який одним зі своїх кінців вертикально виходить в розсіювач, який має форму поверхні обертання приблизно з рівномірним розподілом швидкостей, який накритий відбивним екраном. Такий пристрій дозволяє надати загальний усереднений напрям потоку приблизно з рівномірним розподілом середніх швидкостей по колу, але не запобігає розсіюванню рідини по висоті, що обумовлено дією турбулентного обміну між затопленим струменем і навколишньою рідиною.

Тому при високій продуктивності наповнення і спорожнення резервуара і невеликій в'язкості продукту, наприклад бензину, для утворення не розсіюючого струменя потрібна велика кількість додаткових елементів, що призводить до значного підвищення технічної складності і вартості пристрою. З цієї причини часто використовують пристрої, що допускають розсіювання рідини по вертикалі і швидкий вихід затопленого струменя на поверхню.

Для попередження утворення додаткового ЕЗ, що формується при завантаженні ВВДР у резервуар, було розроблено приймально-роздавальний пристрій [162] – заспокоювач, метою якого є забезпечення перебування потоку рідини в об'ємі рідини заданий час до виходу на поверхню і запобігти поділу подвійного електричного шару на поверхні стінок резервуара. Принцип дії завантажувального пристрою (рисунок 3.2) полягає в розміщенні в резервуарі напівкруглої стінки, яка повністю відокремлює область надходження рідини в резервуар від усього об'єму рідини. Поворотна кришка ПРП при відсутності подачі рідини в резервуар спирається на стінки секції.

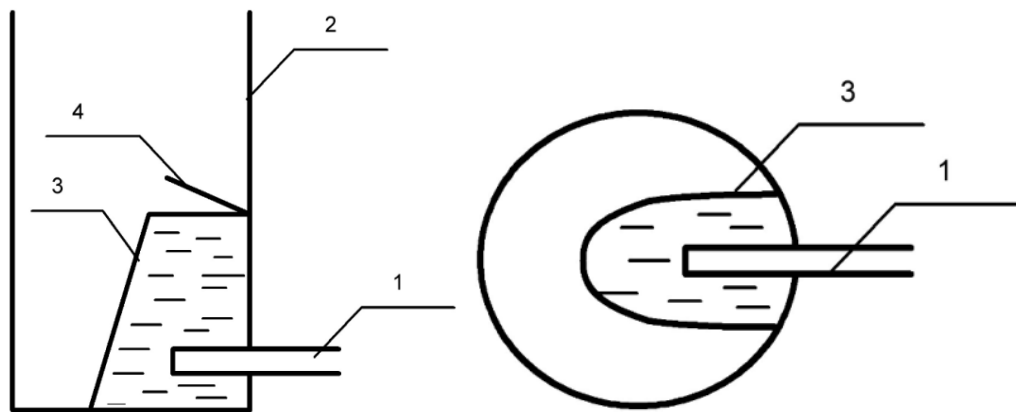


Рис. 3.2. - Схема вибухобезпечного приймально-роздавального пристрою (ПРП): 1 - впускний патрубок; 2 - стінка резервуара; 3 - напівкругла стінка секції; 4 - поворотна кришка

Стінка секції ПРП - 3 повністю відокремлює область надходження рідини в резервуар від усього об'єму рідини в резервуарі, бо торці стінок секції щільно приєднані (прикріплені) до стінок резервуара, а кришка в відсутності подачі рідини в резервуар спирається на стінки секції. Стінки секції ПРП нахилені під невеликим кутом до осі резервуара. Поворотна кришка і механізм управління кришкою, за допомогою якого відкривають (закривають) кришку, аналогічні пристрою хлопущі. Похилі стінки секції можуть мати жолоби для формування спрямованого ламінарного потоку рідини. У стінці секції може монтуватися впускний патрубок, який відкривається при необхідності очищення та ремонту резервуара або зміни виду зберігається продукту. Патрубок дозволяє звільнити секційний простір ПРП від розташованої в ній рідини.

При використанні даного вибухобезпечного приймально-роздавального пристрою досягається вирішення наступних завдань:

- можливість виконувати заповнення резервуара без розбризкування потоку, під шар товарного продукту відповідно до [163];

- немає необхідності підтримувати низьку початкову швидкість завантаження до затоплення ПРУ, так як приймальний патрубок резервуара залишається завжди затопленим;

- можливість виконувати заповнення резервуара з максимально допустимою швидкістю при забезпеченні електростатичної безпеки;

- підвищується пожежовибухонебезпека процесу, тому що ламінарний рух потоку рідини по стінках резервуара перешкоджає утворенню додаткового ЕЗ всередині резервуара;

- ламінарний потік не переводить у зважений стан корозійно-активні осадки з днища резервуара в об'єм рідини, в зв'язку з чим:

а) не погіршується якість продукції;

б) не відбувається генерація додаткового заряду СЕ при зумутненні осаду;

- зменшується сила реакції впускного патрубку при заповненні резервуара, що підвищує термін безаварійної експлуатації резервуара;

- спрощується установка ПРП. Зазвичай ПРП повинні виготовлятися суворо за розмірами висоти розташування ПРП стосовно днища резервуара [160]. А висота врізання ПРП у стінку резервуара різна, тому підбір висоти розташування ПРП збільшує вартість і термін виготовлення і монтажу, так як кожен виріб має виготовлятися і підганятися по місцю індивідуально.

3.5. Дослідження ефективності лабораторної моделі ПРП

Для визначення величини напруженості, створюваної ЕЗ над поверхнею ГР при їх завантаженні в резервуари, була виготовлена лабораторна модель завантажувального пристрою.

Дослідження проводилися з об'ємами рідин, які дорівнюють 2000 і 2500 см³, впускна труба сталева.

Спочатку в ємність завантажували досліджувану рідину без ПРП, потім нову порцію тієї ж рідини заливали з використанням завантажувального пристрою. Результати вимірювання величини напруженості над поверхнею рідини наведені на рис. 3.3 - 3.4.

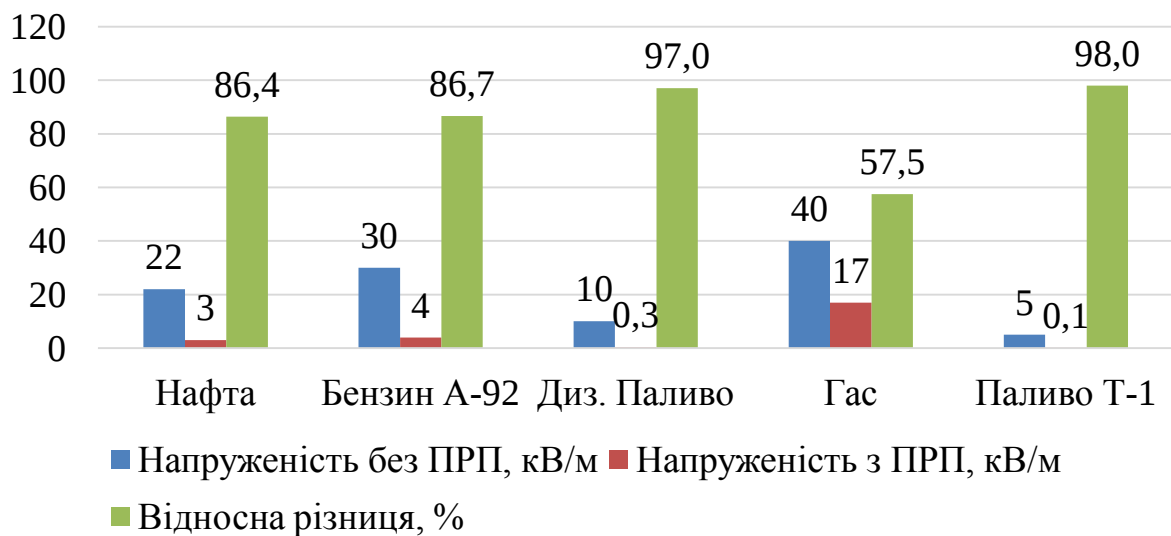


Рис. 3.3. - Зміна напруженості над поверхнею ГР із використанням завантажувального пристрою і без завантажувального пристрою (обсяг 2000 см³)

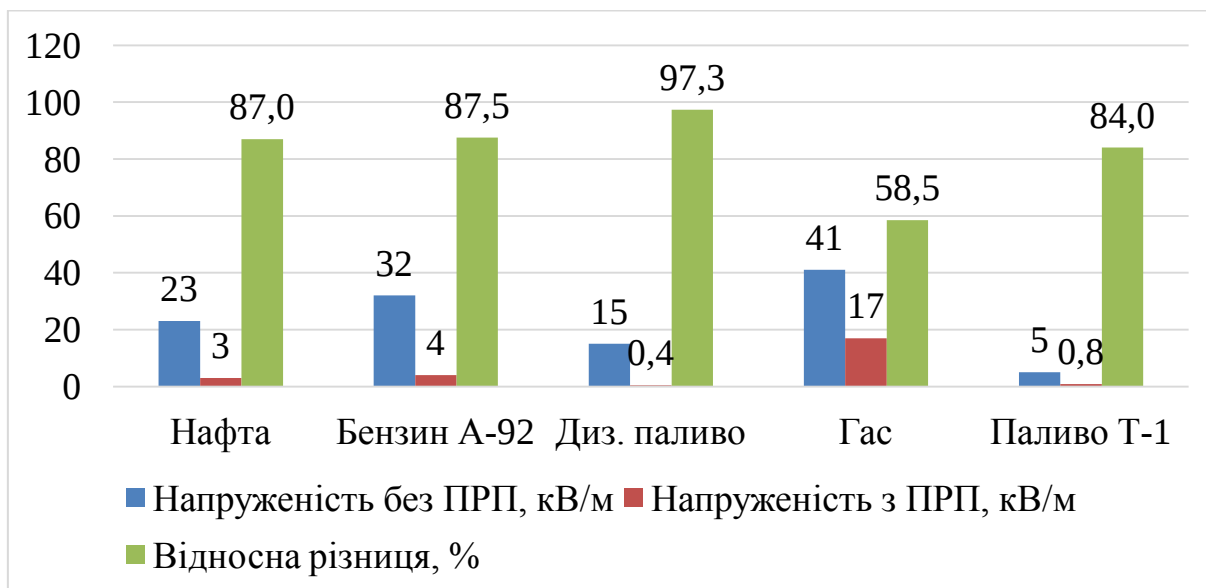


Рис. 3.4. - Зміна напруженості над поверхнею ГР із використанням завантажувального пристрою і без завантажувального пристрою (об'єм 2500 см³)

Таким чином встановлено, що використання ПРП зменшує напруження на величину від 58% до 97%, що відповідно свідчить про значну ефективність запропонованого ПРП.

3.6. Висновки

1. Проведено розрахунки величини заряду і потужності окремої краплі. Встановлено, що до розміру краплі, що дорівнює 0,06 мкм, на краплі досить мати надлишок усього одного електрона для створення напруженості, рівної критичній в сильно неоднорідному полі. При цьому розряд буде мати потужність, якої не достатньо для виникнення полум'я.

2. Запропоновано аналітичну модель для розрахунку часу релаксації, внесеного з потоком ВВДР ЕЗ, із урахуванням змінної площі контакту ВВДР із поверхнею резервуара, а також швидкості релаксації

носіїв ЕЗ (іонна та катафорична провідність) та встановлено їх розбіжність більше ніж на 50%.

3. Запропоновано приймально-роздавальний пристрій, який забезпечує перебування струменя, що надходить в резервуар ВВДР в затопленому стані, протягом часу, достатнього для релаксації катафоричного ЕЗ, внесеного в резервуар з потоком рідини, і перешкоджає утворенню додаткового ЕЗ шляхом зниження турбулентності потоку та дозволяє зменшити формування на поверхні завантажуваної в резервуар рідини ЕЗ до безпечних величин.

4. У лабораторних умовах встановлено, що використання ПРП зменшує напруження над поверхнею на величину від 58% до 97%, що, відповідно, свідчить про значну ефективність запропонованого ПРП.

РОЗДІЛ 4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ОЦІНКА ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ РЕЗЕРВУАРІВ ПРИ ЇХ НАПОВНЕННІ ВІД РОЗРЯДІВ СТАТИЧНОЇ ЕЛЕКТРИКИ

4.1. Експериментальне дослідження пожежонебезпеки процесу наповнення резервуарів нафтопродуктами

Планування і проведення експериментальних досліджень, виконаних у даній роботі, були спрямовані на вивчення факторів, що визначають ЕЗ, і величину поверхневого заряду, що формується під час потрапляння діелектричної вуглеводневої рідини в резервуар, і визначає пожежовибухобезпеку процесу наповнення ГР резервуарів.

Предметом дослідження були процеси додаткової електризації ГР при заповненні резервуарів і процеси релаксації об'ємного ЕЗ діелектричних рідин у резервуарах.

У лабораторному експерименті розглядалося формування поверхневого ЕЗ залежно від обсягу і виду ГР, яка потрапляє в резервуар і впливу контакту ГР зі стінками резервуара при обертальних та інших рухах. Мета дослідів полягала в отримання даних про величину поверхневого ЕЗ при зміні умов контакту рідини з поверхнею резервуара.

При визначенні значень параметрів вимірюваних величин застосовувалися технічні засоби з нормованими метрологічними властивостями. Похибка вимірювання величини напруженості визначалася похибкою самого вимірника ВПЕП-1. Вимірювання обсягу ГР проводилося за допомогою мірних циліндрів (1-2000-2 і 1-500-2). Вимірювання часу здійснювалося секундоміром Агат (3 клас точності).

4.1.1. Опис конструкції експериментальної лабораторної установки

Вимірюваними параметрами в лабораторному експерименті були:

- величина поверхневого заряду, мкКл / м²;
- напруженість електростатичного поля, кВ / м;
- обсяг завантажуваної в резервуар рідини, см³;
- матеріал сполучної труби;
- діаметр з'єднувальної труби, мм;
- час надходження ВВДР у приймальну ємність, с.

Дослідження проводили на лабораторній установці, зовнішній вигляд і схема якої представлені на рис. 4.1 - 4.2.

З ємності - 1 рідина при відкриванні двоходового крана - 15 самопливом надходила по трубі - 2 в приймальну ємність - 4. На поверхні рідини виникав ЕЗ, при цьому на електроді-антені - 5 також формувався індукований ЕЗ, величина якого порівняна з зарядом на поверхні рідини. Електрод-антена - 5 з'єднана екранованим проводом, екранована оболонка якого заземлена, з металевим диском - 8. На диску - 8 виникає ЕЗ, що передається з електрода-антени - 5. За допомогою вимірювального приладу ВПЕП-1 - 10 реєструвалася величина поверхневого ЕЗ і напруженість електростатичного поля на металевому диску - 8. Вся установка для виключення впливу зовнішніх полів і випадкових ЕЗ, які могли сформуватися на одязі випробувача або на інших об'єктах, розташованих поруч, і могли спотворити результати аналізу, поміщувалася в полімерний корпус, виконаний з оргскла - 13, покритий металевою заземленою сіткою - 12.

У ємність - 1 поміщувалася початкова ненаелектризована рідина (контроль проводили з використанням вимірювача електростатичних величин ВПЕП-1), обсяг рідини складав від 250 до 3000 см³.

Матеріал знімної труби - 2: алюміній, поліетилен, сталь. Діаметр труби - 2 змінювався від 10 до 40 мм, довжина труби варіювалася від 0,5 до 1,5 м. Приймальна ємність - 4 (з наелектризованим НП) була виконана з листової сталі і мала полімерне покриття товщиною 8 - 12 мкм.

Електрод-антена - 5 розташовувалася на поплавці, який дозволяв йому завжди перебувати на однаковій відстані від поверхні рідини.



Рис. 4.1. - Загальний вигляд лабораторної установки

З'єднувальні дроти - 6 були укладені в заземлений металевий кожух. Вимірювальний прилад ВПЕП-1 - 10 дозволяв визначати величину поверхневого заряду в межах від 0,02 до 10 мкКл/м² і напруженість електростатичного поля від 2 до 1000 кВ/м [164].

Труба - 2, по якій рідина надходила в приймальну ємність, закріплювалася на штативі - 3 держателем - 14.

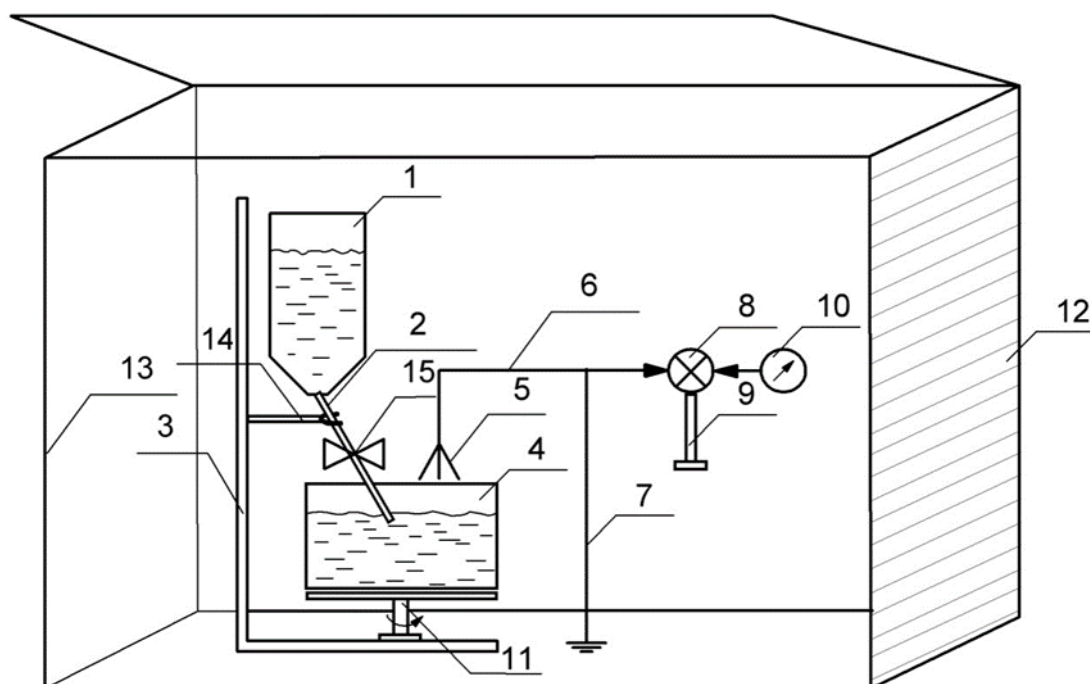


Рис. 4.2. - Принципова схема лабораторної установки: 1 - ємність із вихідної рідиною; 2 - знімна труба; 3 - штатив; 4 - приймальна ємність; 5 - електрод; 6 - екранований провід; 7 - заземлення проводів; 8 - диск для знімання сигналу; 9 - електроізоляційна підставка; 10 – вимірювальний прилад; 11 - шарнірний пристрій для обертання приймальної ємності; 12 - заземлена сітка; 13 - полімерний екран; 14 - тримач; 15 - двоходовий кран.

Час надходження рідини з ємності з вихідною рідиною в приймальну ємність фіксували як за допомогою секундоміра, так і за допомогою відеокамери з активним з'єднанням «фіксація часу». Домагалися такого нахилу з'єднуючої труби і висоти знаходження ємності з вихідною рідиною щодо приймальної ємності, щоб швидкість витікання була близько 6 м/с.

Швидкість надходження рідини v у приймальну ємність розраховувалася виходячи з діаметра труби, обсягу рідини, яка надійшла, часу закінчення по залежності

$$v = \frac{V}{S \cdot \tau}, \quad (4.1)$$

де v - швидкість надходження рідини в приймальну ємність, м/с; V - обсяг рідини, взятий на аналіз, м³; S - площа перерізу труби, м²; τ - час надходження рідини в резервуар, с.

Для отримання більш стабільних результатів зупинилися на трубі довжиною 1,5 м, так як при зменшенні довжини труби результати мали великий розкид у вимірюваних величинах.

Використовувана в дослідженнях установка являє собою особливий випадок застосування принципу «клітки Фарадея». Всі елементи установки, приймальний резервуар, трубопровід, електрод-антена, майданчик для знімання сигналу ретельно ізолювались із використанням керамічних ізоляторів та ізоляторів, виготовлених із політетрафторетіленових матеріалів.

Відхилення результату вимірювання від істинного значення вимірюваних величин визначено з урахуванням похибки вимірювань згідно з ГОСТ 8.207 [165] із використанням методичних рекомендацій [166].

4.1.2. Методика проведення лабораторних досліджень

Дослідження проводилося в наступній послідовності. У ємність із ненаелектризованим НП - 1 поміщали від 0,250 до 3 дм³ діелектричної рідини: нафта, бензин, дизельне паливо, бензол. Електрод-антену - 5 встановлювали на поплавці таким чином, щоб під час потрапляння всього об'єму рідини в приймальну ємність волоски антени торкалися поверхні рідини. Вимірювальну головку ВПЕП-1 встановлювали на фіксованій відстані, передбаченій моделлю приладу, а саме 10 см від диска - 7. Включали прилад ВПЕП-1 (попередньо заземливши його) і вимірювали початкову величину поверхневої густини заряду на диску - 7. При наявності на ньому поверхневого заряду знімали його тимчасовим заземленням і встановлювали нуль на вимірнику ВПЕП-1. Після отримання нульових значень на ВПЕП-1 заземлення з диска знімали.

Далі встановлювали необхідний кут нахилу труби - 2 і висоту підйому резервуара - 1. Включали відеокамеру і фіксували початкове значення напруженості на диску вимірником ВПЕП-1. Повністю відкривали двоходовий кран - 15 на ємності з ненаелектризованою рідиною - 1 й одночасно включали секундомір. Після надходження всього об'єму рідини в приймальну ємність і отримання незмінних в часі величин поверхневої густини заряду на диску - 7 проводили обертання рідини за допомогою пристрою для обертання приймальної ємності - 13.

Порція НП використовувалася одна і та ж багаторазово. Так як на поверхні рідини утворюється ЕЗ, він індукує заряд на антені, який по сполучних провідниках від антени переходить на круглий екран до тих пір, поки не досягається стану рівноваги. Величина заряду, яка сформувалася на диску, фіксувалася вимірником ВПЕП-1.

4.1.3. Результати дослідження статичної електризації

Результати проведених досліджень, отриманих для нафти, з межами довірчих інтервалів представлені на рис. 4.1-4.3.

Для всіх отриманих експериментальних даних визначена межа похибки результату вимірювання за [161] з використанням методичних рекомендацій [166]. Розміри меж довірчого інтервалу наведені на рис. 4.1-4.6. Сполучні криві на графіках - поліноми другого порядку.

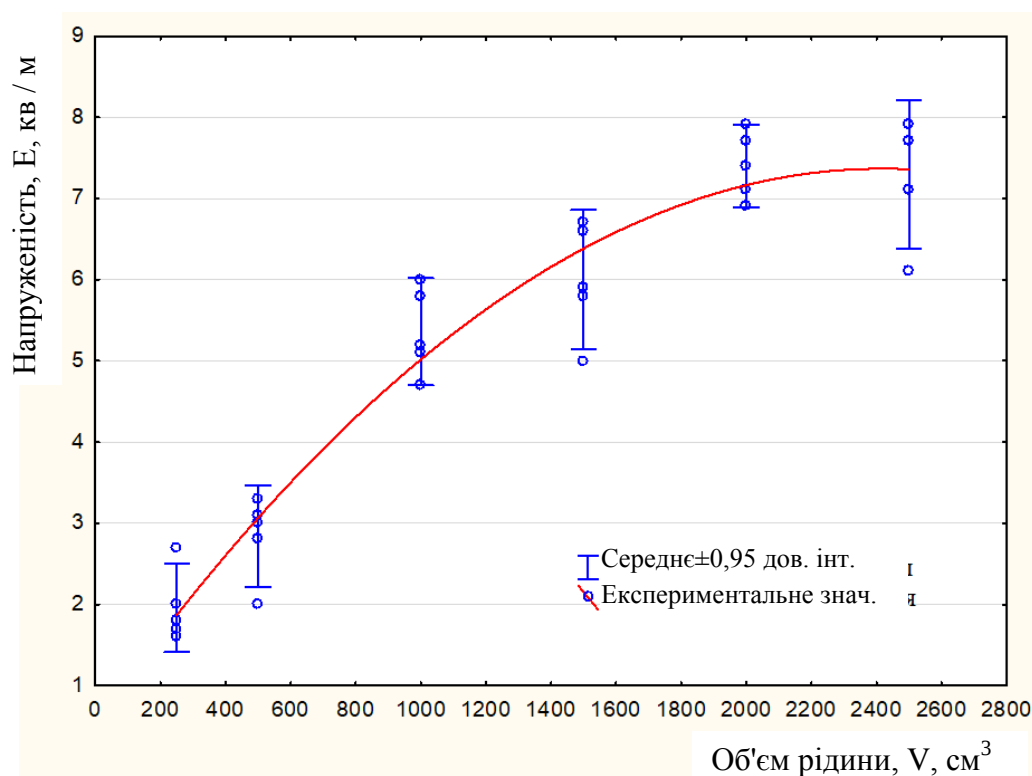


Рис. 4.1. - Напруженість над поверхнею нафти при надходженні всієї порції рідини (труба сталевая, $D_{\text{вн}} = 0,01$ м, $l = 0,85$ м)

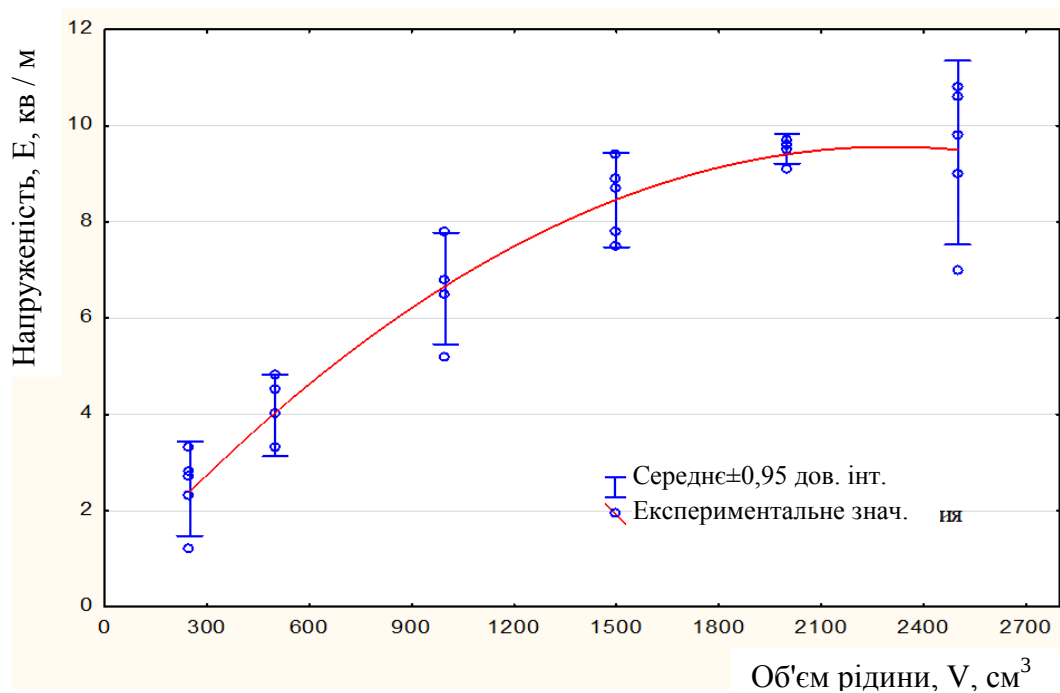


Рис. 4.2. - Напруженість над поверхнею нафти після обмивання стінок резервуара: труба сталева, $D_{\text{вн}} = 0,01$ м, $l = 0,85$ м

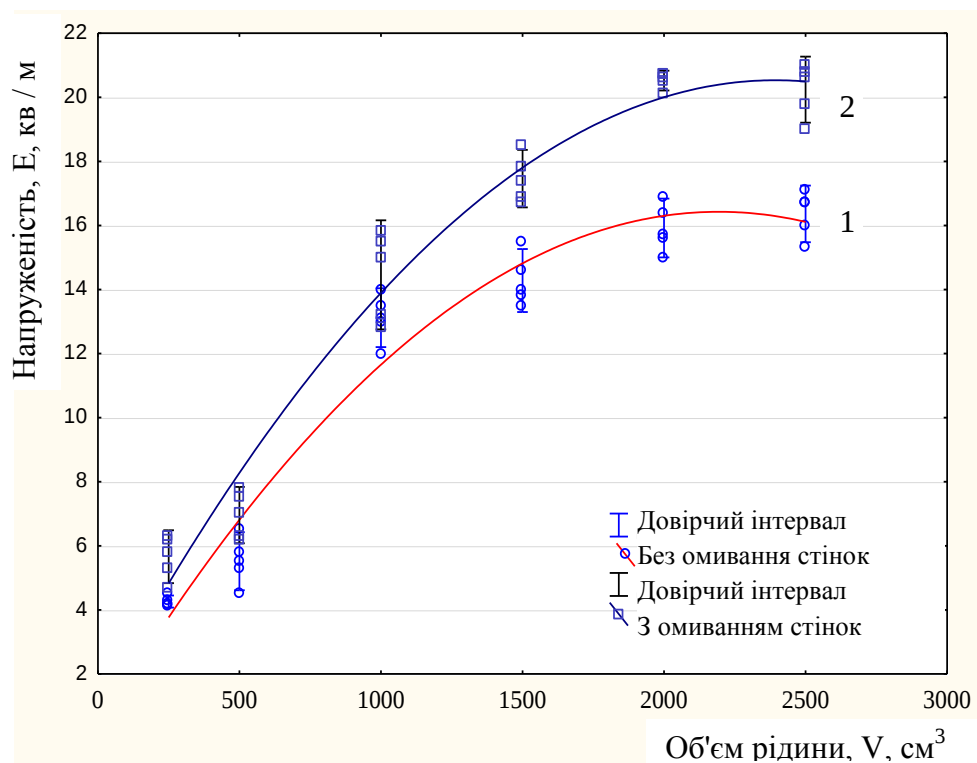


Рис. 4.3. - Зміна напруженості над поверхнею рідини (нафта):
1 - лінія без руху рідини по стінках; 2 - лінія після омивання стінок; труба сталева, $D_{\text{вн}} = 0,01$ м, $l = 1,5$ м

Аналіз отриманих даних про величину напруженості над поверхнею рідини, що надійшла в резервуар, показав, що під час вступу ГР у резервуар без руху по стінках резервуара напруженість менше, ніж при надходженні рідини з рухом (омиванням) стінок резервуара. Причому приріст на одиницю об'єму рідини зі збільшенням об'єму рідини зменшується. Це можна пояснити тим, що площа омиваємої поверхні стінок стає менше при однакових об'ємах використовуваних приймальних резервуарів для досліджуваних об'ємів рідини.

Крім того, це побічно підтверджує той факт, що частина ЕЗ релаксує в об'ємі рідини до виходу на поверхню ГР за час спостереження, що в результаті фіксується як менший поверхневий заряд. Приріст напруженості для обсягу 2500 мл в окремих випадках досягав до 25%, у порівнянні з напруженістю, що формується над поверхнею ВВДР при потраплянні до резервуару без омивання його стінок.

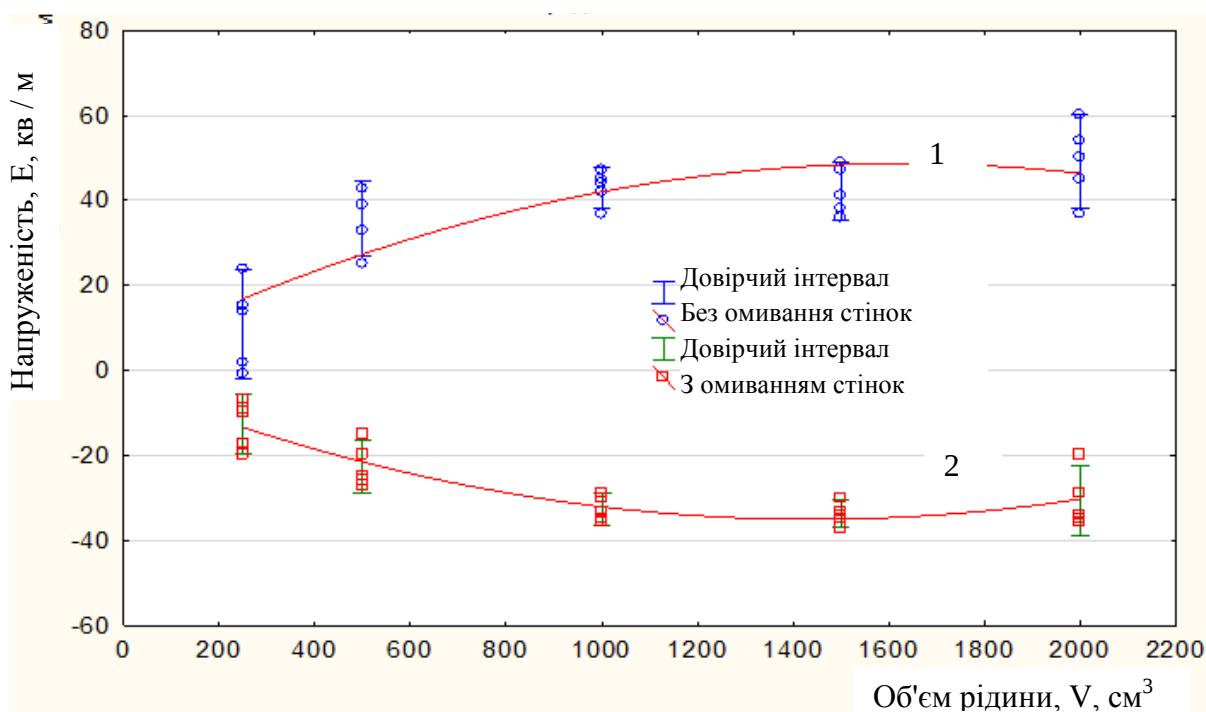


Рис. 4.4. - Зміна напруженості над поверхнею бензину А-92: 1 - надходження рідини без омивання стінок резервуара; 2 - після омивання стінок; температура - 18 °С; труба сталевая, $D_{\text{вн}} = 0,01$ м; $l = 1,5$ м

З рис. 4.4 видно, що величина напруженості змінює знак на протилежний при омиванні стінок резервуара в порівнянні з внесеним у резервуар ЕЗ. Це можна пояснити тим, що носії ЕЗ у бензині мають протилежний знак порівняно з ЕЗ, що виносяться на поверхню ГР при поділі подвійного електричного шару рідини, присутньої на стінках резервуара. Крім того, видно, що величина сумарного заряду стабілізується і практично не підвищується з підвищенням обсягу досліджуваної рідини.

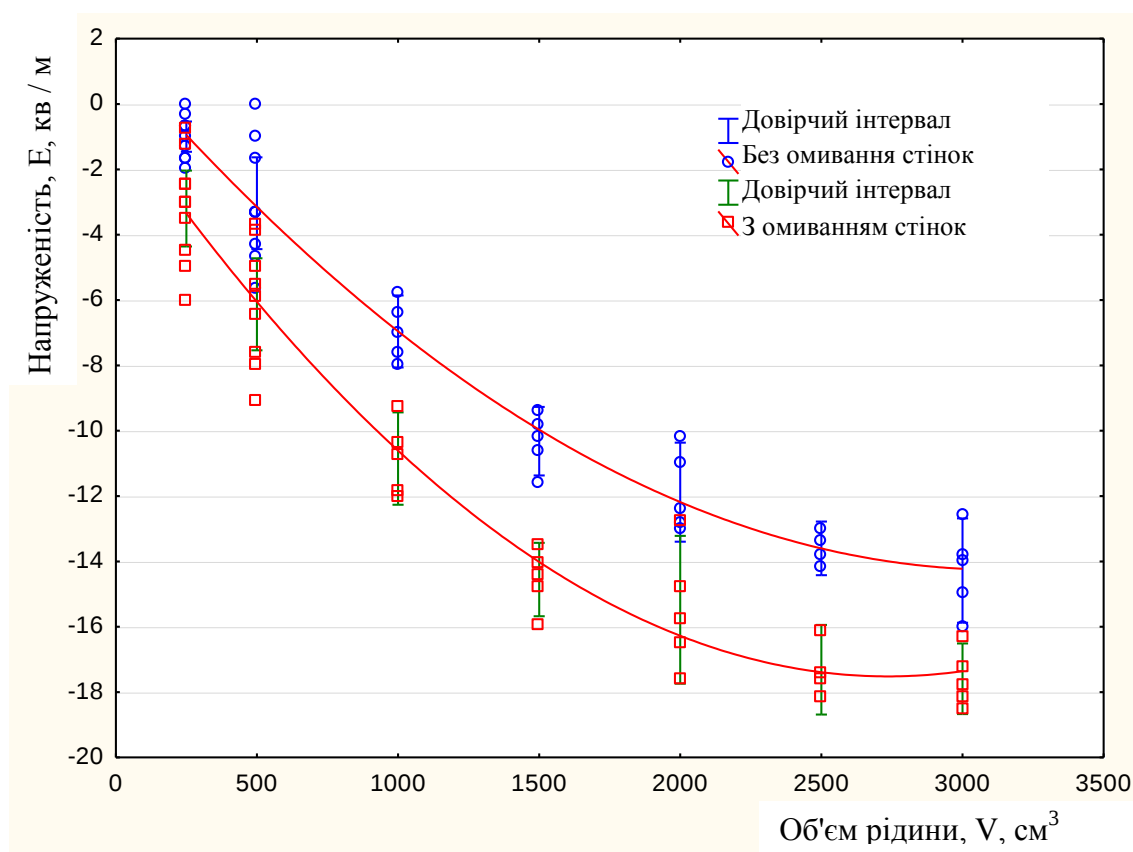


Рис. 4.5. - Зміна напруженості над поверхнею бензину А-92: температура - 18 °С, $D_{\text{вн}} = 0,01$ м, $l = 1,5$ м

Аналіз рис. 4.5. показує, що при протіканні рідини по сполучній трубці з поліетилену на поверхні рідини формується негативний ЕЗ.

Причому ЕЗ, що змивається зі стінок резервуара, має аналогічний заряд. Абсолютне значення цього додаткового заряду має приблизно однакове значення, яке може характеризувати величину заряду, що знаходиться на одиниці площі стінки резервуара, яке змивається потоком ВВДР. Це призводить до того, що зі збільшенням омиваємої поверхні (а вона найбільша на початковому етапі завантаження рідини в резервуар), на якій відбудеться розподіл подвійного електричного шару і перенесення його заряду на поверхню рідини, буде збільшуватися і ЕЗ, що виноситься на поверхню.

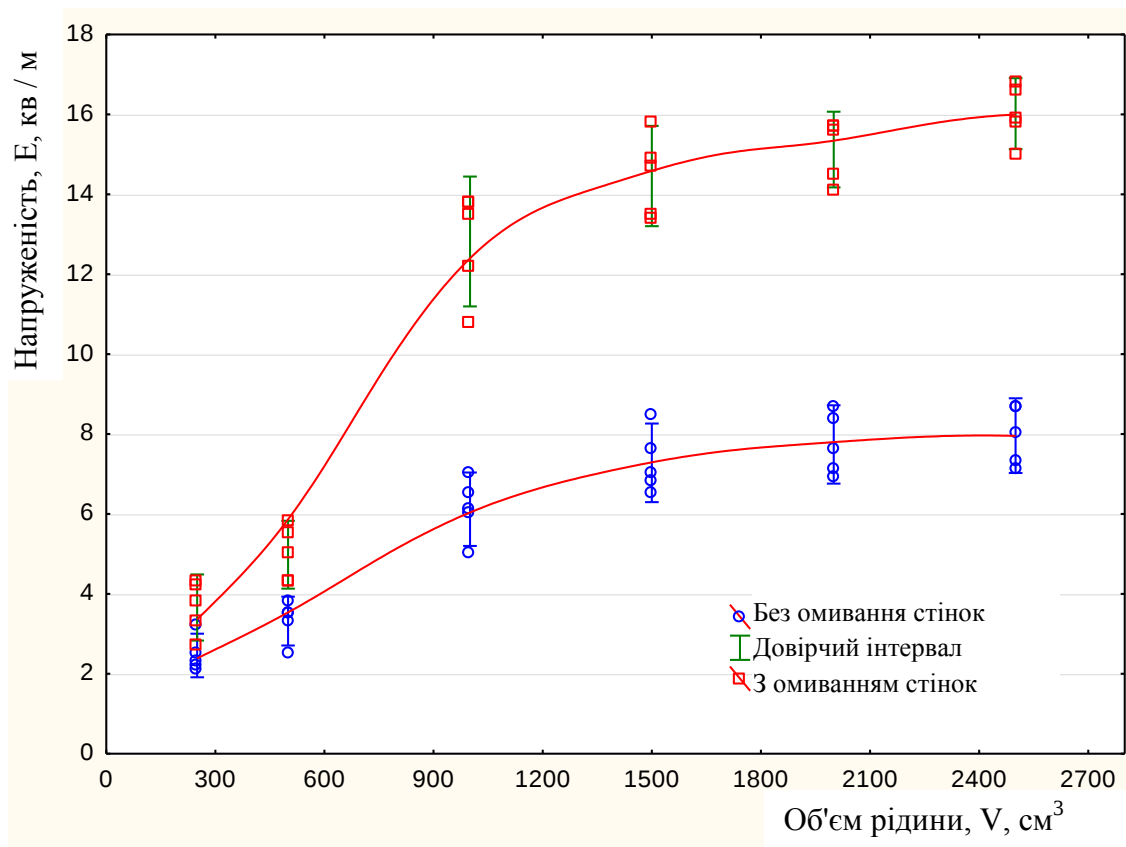


Рис. 4.6. - Зміна напруженості над поверхнею нафти: температура - 18 °С, труба алюмінієва, $D_{\text{вн}} = 0,01$ м, $l = 1,5$ м

Аналіз рис. 4.3.-4.6. показує, що ЕЗ, внесений у резервуар, залежить як від виду сполучної труби, так і від виду вуглеводневої рідини.

Із отриманих результатів випливає, що приріст напруженості при обмиванні рідиною стінок приймальні ємності відбувається на всіх розглянутих об'ємах рідини. Розкид окремих значень величин напруженості при однакових умовах проведення дослідів свідчить про наявність факторів, які не піддаються контролю і не виявлені під час проведення дослідження, що, в першу чергу, відноситься до неконтрольованого розбризкування рідини (відхилення, в середньому, не перевищує 20%).

4.2. Експериментальне визначення часу релаксації

4.2.1. Опис конструкції експериментальної лабораторної установки

Швидкість стікання заряду (некатафоричного походження) було перевірено на лабораторній установці [167], представленої на наступному малюнку.

Резервуар, виготовлений з листової сталі товщиною 2 мм, діаметром 320 мм, висотою 470 мм заповнювали нафтою. Резервуар був встановлений на ізоляційну підставку, виготовлену з деревини, з верхнім шаром із поліетилену. Збоку до резервуару був приварений заземлюючий штир, за який закріплювали заземлення, з'єднане з заземлення корпусу, що проходить через все приміщення. Один з контактів електрофорної машини за допомогою мідного дроту перетином 2 мм був з'єднаний із резервуаром. Заземляючий штир знаходився на протилежній стороні резервуара. Для виміру швидкості стікання заряду використовували вимірювач параметрів електростатичного поля ВПЕП-1.

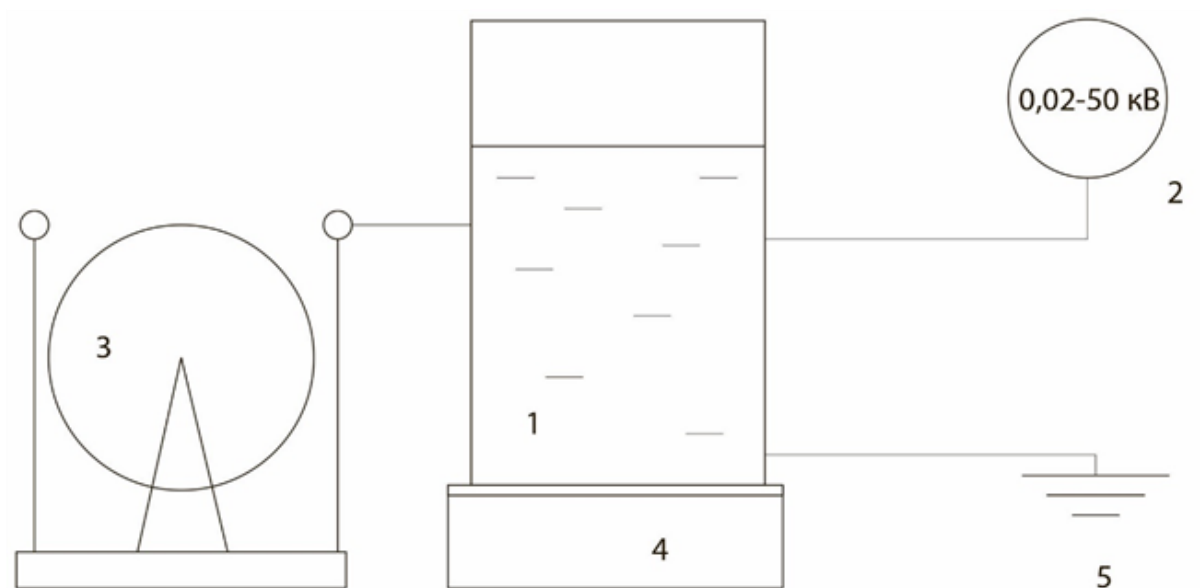


Рис. 4.7. - Схема установки з визначення часу релаксації ЕЗ:
1 - сталевий резервуар; 2 - вимірювач ВПЕП-1; 3 - електрофорна машина;
4 - ізоляційна підставка; 5 - заземлення

Час релаксації заряду визначали з використанням секундоміра та відеокамери. Методика проведення дослідження полягала в наступному. Вимірювач параметрів електростатичного поля ВПЕП -1 встановлювали на відстані 10 см від обраного місця на поверхні резервуара, заповненого нафтою. Багаторазовим торканням заземленою щіткою домагалися обнулення заряду на поверхні резервуара.

Запускаючи в дію електрофорну машину, формували в контрольній точці на поверхні резервуара заряд, який фіксували за допомогою вимірника ВПЕП-1. Секундомір вмикали в момент закінчення формування заряду електрофорною машиною. Фіксували максимальне показання приладу і час закінчення заряду.

На рис. 4.8 наведено графік зміни заряду некатафоричного походження на поверхні заповненого нафтою резервуара.

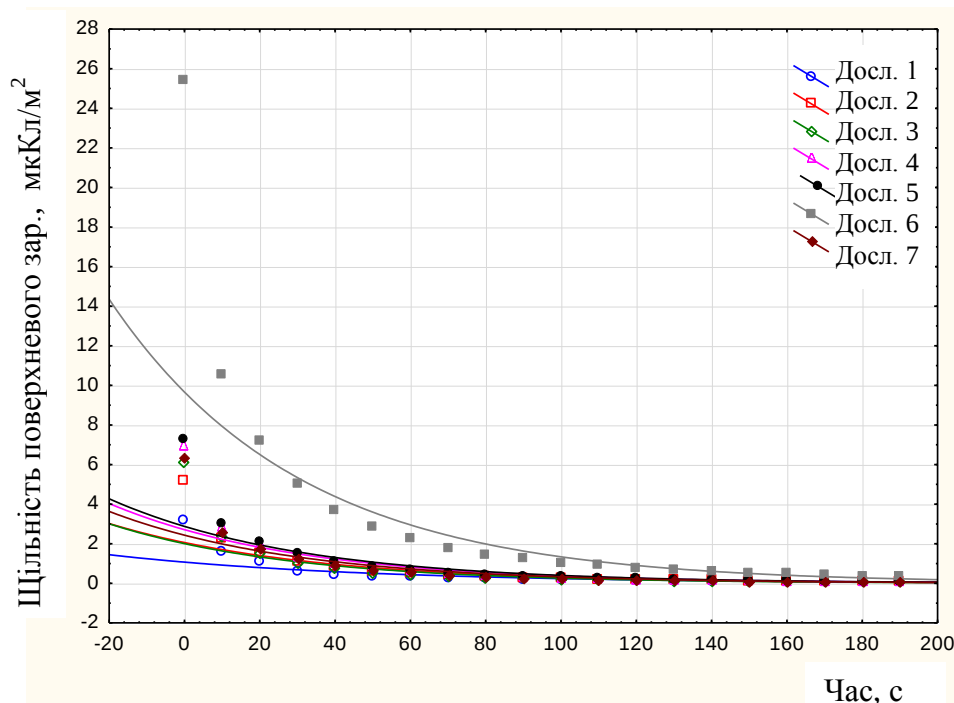


Рис. 4.8. - Графік залежності вимірювання щільності поверхневого заряду: точки - результати експерименту; лінія - теоретично розрахована функція

З рис. 4.8 видно, що, залежності від величини вихідного заряду, змінюється час розсіювання заряду, сформованого надлишком електронів. І навіть при невеликій величині вихідного заряду час його витoku досягає 60 с. Таким чином, показано, що ГР утримує навіть поверхневий заряд електронної природи, заряди ж іонної і катафоричної природи будуть релаксувати ще з меншою швидкістю.

Аналогічні вимірювання провели як при незаземлені резервуарі, так і при заземленому резервуарі. При цьому змінювали діаметр провідника заземлення. Результати експериментів наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1.

Час релаксації заряду некатафоричної природи

Наявність заземлення	Максимальний заряд, q , мкКл / м ²	Залишковий заряд, q , мкКл / м ²	Час релаксації заряду до залишкової величини, τ , з
без заземлення	$1,660 \pm 0,08$	$0,100 \pm 0,05$	76,45
без заземлення	$1,355 \pm 0,06$	$0,100 \pm 0,05$	80,68
без заземлення	$1,338 \pm 0,06$	$0,100 \pm 0,05$	79,65
без заземлення	$1,404 \pm 0,07$	$0,100 \pm 0,05$	86,89
заземлення	$0,067 \pm 0,05$	$0,009 \pm 0,05$	49
заземлення	$0,064 \pm 0,05$	$0,009 \pm 0,05$	15
заземлення	$0,064 \pm 0,05$	$0,010 \pm 0,05$	23
заземлення	$0,068 \pm 0,05$	$0,011 \pm 0,05$	26

При проведенні такого ж дослід на незаповненому нафтою резервуарі сформувати заряд на поверхні резервуара неможливо, вимірником ВПЕП-1 він не фіксується.

Відповідно до табл. 4.1. побудовано рис. 4.9.

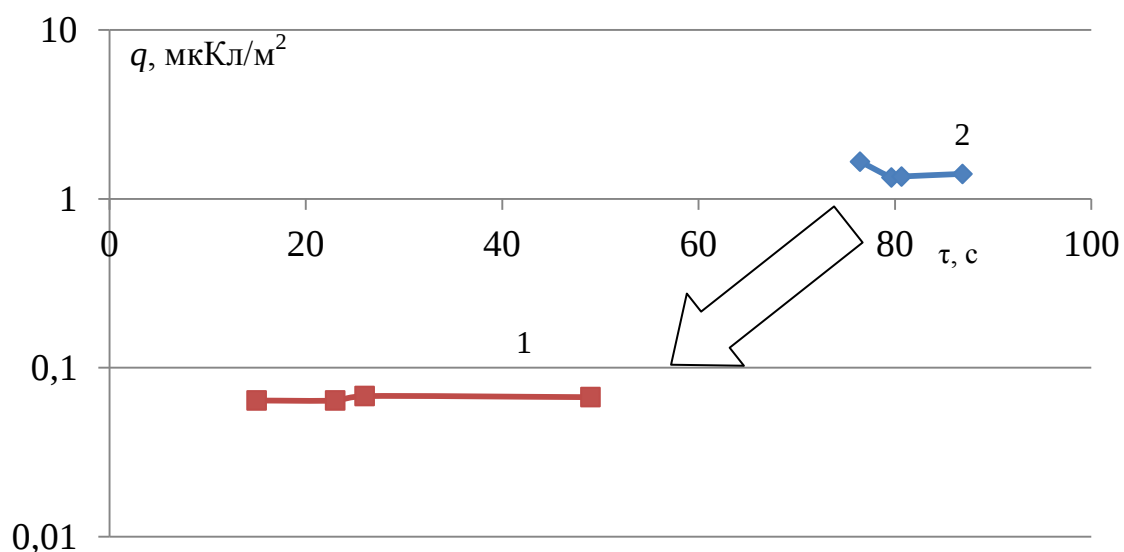


Рис. 4.9. – Залежність (взаємозв'язок) максимального заряду від часу релаксації заряду некатафоричного походження: 1 – із заземленням; 2 – без заземлення

Аналіз рисунку показує, що вплив товщини провідника досить несуттєвий, у той час, як наявність заземлення призводить до зменшення часу релаксації в кілька разів та величини максимального заряду більше ніж у 10 разів.

Час релаксації іонів не може дорівнювати часу релаксації зарядів, що утворилися при додаванні зовнішнього електростатичного поля, природа яких зовсім інша. Тому необхідно використовувати установку, в якій формування заряду в НП відбувається саме при русі рідини, тобто носіями зарядів повинні бути багатоатомні іони, міцели або інші заряджені частинки, і потім визначати час релаксації утвореного заряду, тобто встановити, яка швидкість стікання заряду, сформованого іонами різної природи.

4.2.2. Визначення часу релаксації іонів всіх видів

Для визначення часу релаксації заряду, сформованого іонами різної природи з наявністю повітряних включень, проводили випробування на установці, яка представлена на рис. 4.10. Методика проведення експерименту полягала в тому, що з резервуара - 1 при відкриванні крана рідина падала вільним струменем в приймальну ємність - 4, яка була заземлена.

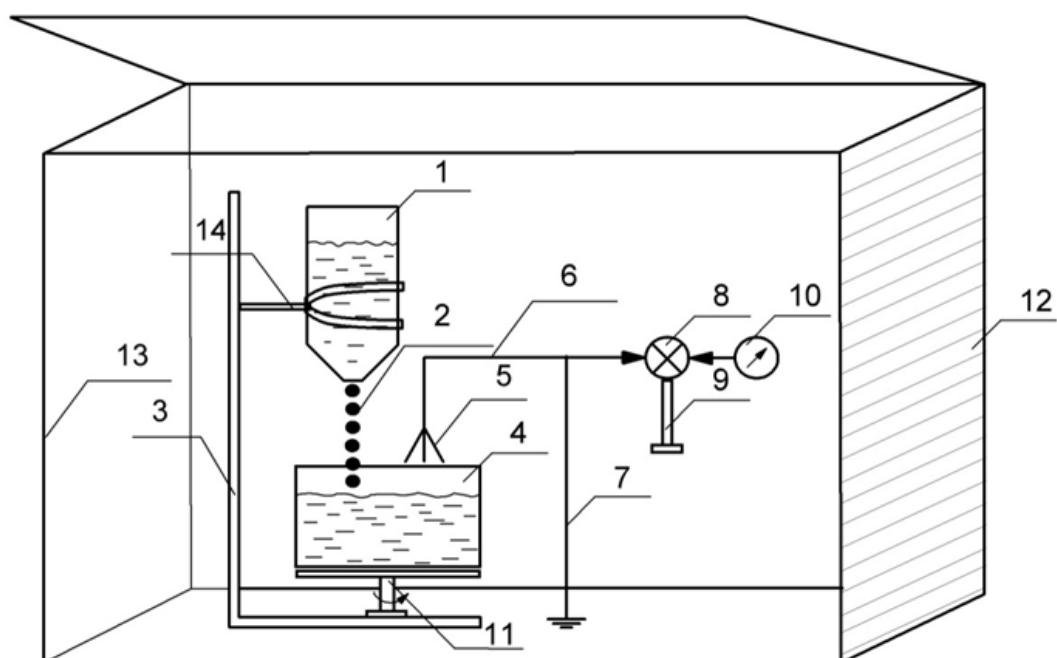


Рис. 4.10. - Схема установки з визначення часу релаксації заряду, сформованого при вільно падаючому струмені діелектричної рідини: 1 - ємність з вихідною рідиною; 2 - вільно падаюча рідина; 3 - штатив; 4 - приймальна ємність; 5 - антена; 6 - екранований провід; 7 - заземлення; 8 - диск для знімання сигналу (вимірювальний прилад); 9 - електроізоляційна підставка; 10 - вимірювальний прилад ВПЕП-1

Об'єм падаючої рідини становив 1 дм^3 . Вільна поверхня дзеркала рідини становила 3 дм^2 . Результати вимірювань напруженості на поверхні рідини при вільно падаючому струмені наведені на рис. 4.11 і 4.12.

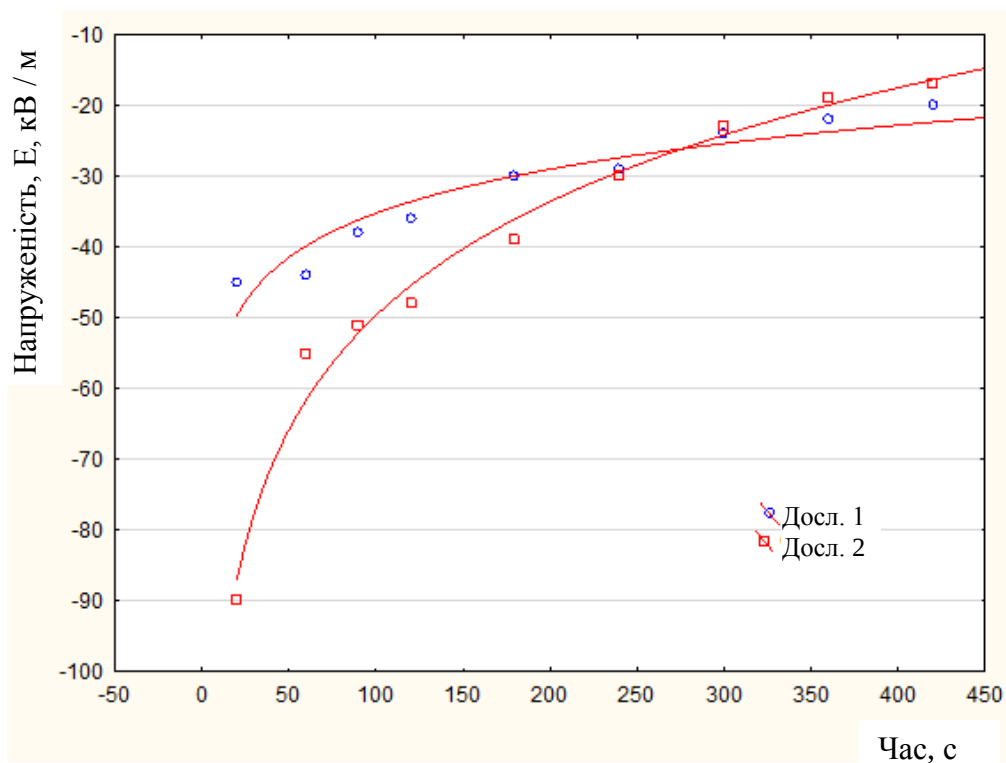


Рис. 4.11. - Зміна напруженості над поверхнею рідини з плином часу (висота падаючого струменя - 1 м)

З представлених на рис. 4.11 і 4.12 результатів вимірювань видно, що придбаний при вертикальному (вільному) падінні струменя заряд повністю не зникає з поверхні НП досить тривалий час - більше 400 с.

Таким чином, показано, що визначення часу релаксації заряду для діелектричних рідин не ідентичне заряду, сформованому при падінні вільного струменя рідини. І також нерівнозначно зарядові, сформованому при русі діелектричних рідин по трубопроводах.

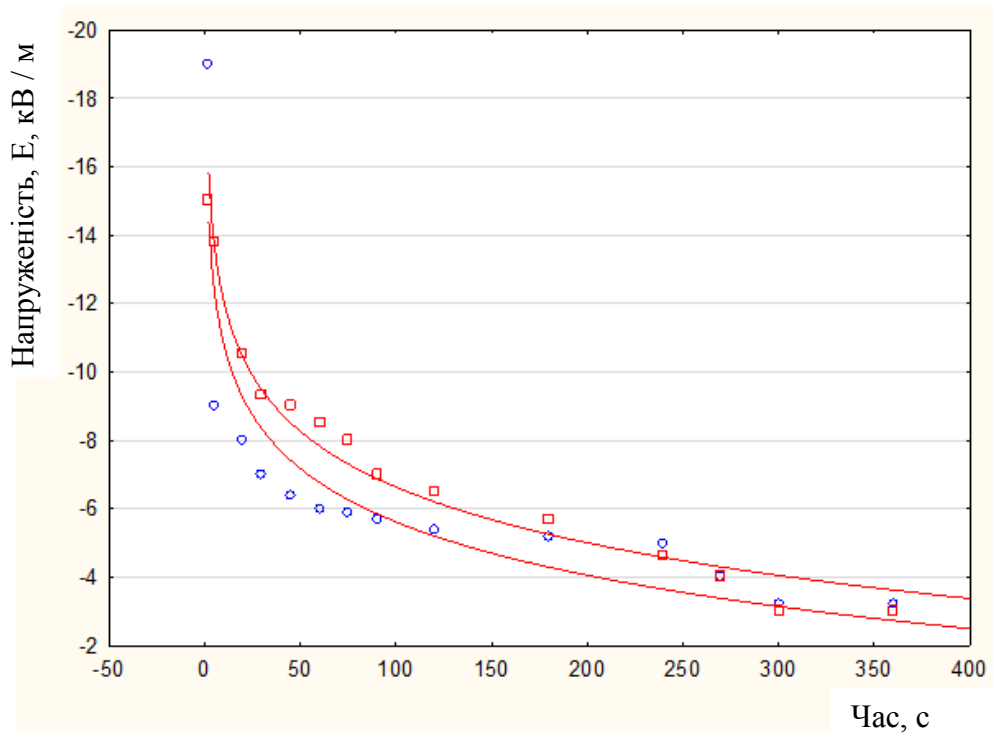


Рис. 4.12. - Зміна напруженості над поверхнею рідини з плином часу (висота вільно падаючого струменя - 0,4 м)

4.3. Розробка пристрою, що сигналізує про накопичення ЕЗ на поверхні НП

Так як при різних операціях можливе утворення ЕЗ, то для забезпечення електростатичної безпеки технологічних операцій із легкозаймистими вуглеводневими рідинами потрібно контролювати напруженість електростатичного поля в ємностях і резервуарах.

У процесі технологічних операцій або зберігання ГР об'ємний заряд у рідині поступово переходить у поверхневий, і саме поверхневий заряд відповідає за розряд у проміжку між заземленим елементом і наелектризованої рідиною.

Відомий датчик вимірювача напруженості електростатичного поля по типу електростатичного генератора, що містить секторні вимірювальні

електроди і обертається заземлений електрод-модулятор, принцип роботи якого заснований на періодичному екранування вимірювальних електродів від поля за рахунок переміщення модулятора щодо чутливих елементів [168, 169]. Тривалий контроль величини напруженості поля за допомогою датчиків, заснованих на даному принципі, і ті, що випускаються промисловістю, при цьому неможливі через нестійку роботу датчиків у повітряно-крапельному середовищі, наявному в резервуарах.

Відомо також про пристрій [170, 171] для вимірювання напруженості електричного поля, що містить послідовно з'єднані датчик, диференціальний підсилювач і реєстратор. Однак цей пристрій має великогабаритний реєстратор і необхідність постійного спостереження оператором за показаннями реєстратора.

Відомо також пристрій для вимірювання електростатичного поля, що містить два датчика, підсилювач, два інвертора, суматор і реєстратор [172, 173]. Недолік цього пристрою полягає в невисокій точності і стабільності контролю параметрів електростатичного поля, що обумовлено малою чутливістю датчиків і роздільною здатністю вимірювальної схеми.

4.3.1. Схема пристрою, що сигналізує про накопичення ЕЗ на поверхні НП

Нижче наведено схему пристрою для забезпечення постійного контролю над величиною поверхневого статичного заряду на поверхні рідини НП і при досягненні критичної (здатної до іскрового пробою газового простору над поверхнею вибухонебезпечного продукту) величини цього заряду на поверхні рідини світлової і / або звукової сигналізації, яка

послужить інформацією обслуговуючому персоналу для прийняття превентивних заходів.

Пристрій (рис. 4.13) містить електрод-антену - 1, розташовану за допомогою поплавка - 3 на одній і тій самій відстані від поверхні НП - 6 резервуара - 4 у тій його частині, де відбувається формування найбільшого ЕЗ [59] (центр резервуара) .

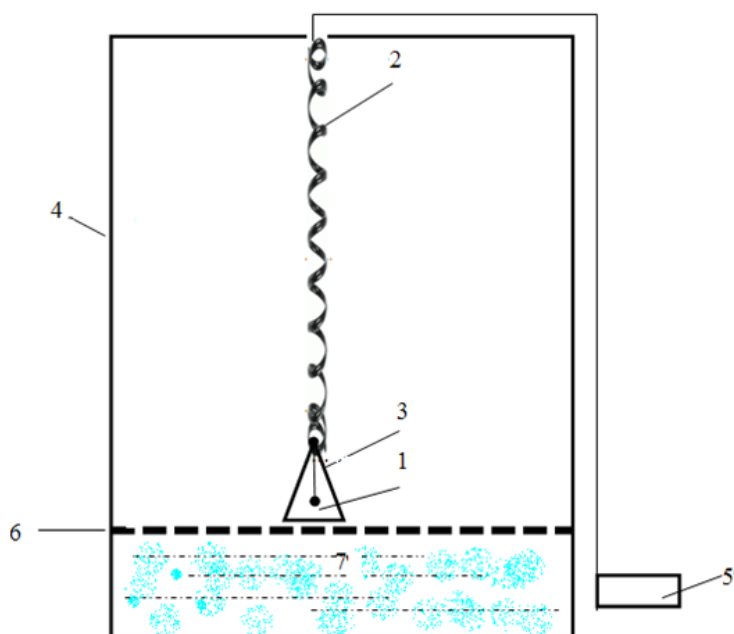


Рис. 4.13. - Розміщення електрода-антени й електронного блоку пристрою для визначення небезпечного рівня електризації НП в резервуарі: 1 - електрод-антена; 2 - гнучкий гофрований дріт; 3 - поплавок; 4 - резервуар; 5 - пристрій, що реєструє; 6 - рівень рідини; 7 - ГР

Робота пристрою здійснюється наступним чином: на електроді-антени - 1 (рис. 4.14), виконаному у вигляді стрижня (товстого ізолюваного проводу з заокругленим кінцем) і закріпленому на поплавці - 3, що забезпечує знаходження електрода-антени на одній і тій самій постійній відстані від поверхні рідини і розміщеному в центрі резервуара,

формується наведений потенціал, відповідний поверхневому заряду на дзеркалі рідини.

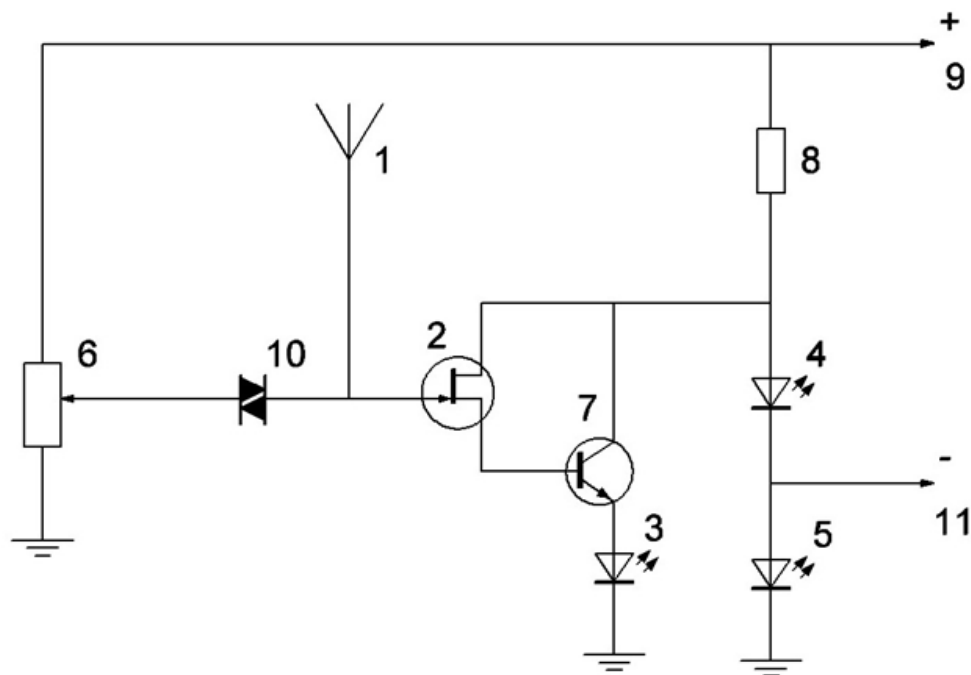


Рис. 4.14. - Принципова схема електронного блоку пристрою для визначення небезпечного рівня електризації ГР: 1 - електрод-антена; 2 - польовий транзистор, 3 - світлодіод зеленого кольору; 4, 5 - світлодіоди червоного кольору; 6 - змінний резистор; 7 - кремнієвий транзистор; 8 - резистор; 9 - джерело живлення; 10 - стабілітрон; 11 - вихід на звуковий сповіщувач

У початковому стані (при відсутності електричного поля, тобто відсутності поверхневого заряду на дзеркалі рідини) опір каналу витік-стік польового транзистора 2 (рис. 4.14) невеликий [173]. Струм протікає переважно через індикатор включеного стану пристрою - світлодіод зеленого кольору - 3. Світлодіод - 3 шунтує ланцюг послідовно з'єднаних

світлодіодів - 4, 5. При наявності зовнішнього критичного електричного поля (сформувався поверхневий заряд на дзеркалі рідини в резервуарі і відповідний йому потенціал на електроді-антені) опір каналу витік-стік польового транзистора - 2 зростає. Відбувається плавне або миттєве відключення світлодіода - 3. Струм від джерела живлення - 9 через змінний резистор - 6 починає протікати через послідовно включені світлодіоди червоного кольору - 4, 5.

Додатково можна підключити звуковий сповіщувач до виходу - 11. Налаштування змінного резистора - 6 здійснюється попередньо на критичний зовнішній потенціал. Максимальний струм через світлодіоди не повинен перевищувати 20 мА. Стабілітрон захисту також можна використовувати різних типів, але максимальна напруга стабілізації має становити 10 В. Датчик у вигляді електрода-антени повинен бути ретельно ізолюваний. При цьому чутливість пристрою помітно зростає. Струм, що протікає через польовий транзистор, залежить від початкового зсуву на його затворі. Для транзисторів навіть однієї партії виготовлення, а тим більше для транзисторів різних типів, величина початкового зсуву для забезпечення рівного струму через навантаження помітно відрізняється. Змінний резистор - 6 на керуючому електроді польового транзистора - 2 дозволяє як регулювати початковий зсув на затворі транзистора, так і задавати початковий струм через опір навантаження (світлодіод) - 3 і таким чином керувати чутливістю пристрою. Початковий струм через світлодіод становить 2-3 мА.

4.4. Оцінка впливу на пожежну небезпеку резервуарів розробленого ПРП

Пожежна безпека об'єкта – стан об'єкта, при якому з регламентованою ймовірністю виключається можливість виникнення і розвитку пожежі та впливу на людей небезпечних факторів пожежі, а також забезпечується захист матеріальних цінностей [174, 175].

Зменшуючи потужність розрядів статичної електрики в середовищі з ГР, знижується ймовірність виникнення і розвитку пожежі на даних об'єктах, і тим самим підвищується пожежна безпека об'єкта.

Небезпека статичної електрики при електризації ГР можна оцінити, знаючи величину електричного заряду, який формується на його поверхні при різних технологічних операціях. При збільшенні щільності електричного заряду напруженість поля може досягти такої величини, при якій відбудеться електричний пробій. Чим нижче електростатичний потенціал на поверхні рідини, тим менша загроза небезпечних проявів статичної електрики.

При наливанні рідких вуглеводнів максимальний електричний потенціал на поверхні рідини в 5-10 разів вище максимального потенціалу при наливанні затопленим струменем за тих же умов.

Проведені лабораторні дослідження показали, що зниження напруженості над поверхнею ГР при її завантаженні в резервуар з використанням завантажувального пристрою знижується до 8 разів у порівнянні із завантаженням тієї ж рідини без ПРП. Це говорить про багаторазове зниження потужності розрядів статичної електрики і, відповідно, ймовірності виникнення пожежі від цих розрядів. Однак слід провести більш масштабні дослідження в полігонних умовах.

4.4.1. Полігонні випробування ПРП, що знижує утворення поверхневого електростатичного заряду

При круговому русі діелектричної рідини уздовж стінок резервуара створюється ЕЗ. Якщо на внутрішній стінці резервуара формується постійний заряд q , то, оскільки загальний заряд у провідній оболонці, відповідно до закону Фарадея, має дорівнювати нулю, на зовнішній стіні резервуара утворюється в результаті індукції заряд $+q$, що врівноважує заряд q , присутній на внутрішній стінці.

При якісній ізоляції приймального резервуара (повітря, гума) і відсутності заземлення на зовнішній поверхні приймального резервуара виникає поверхневий заряд, який може досягати досить великих величин, що дозволяє його зафіксувати за допомогою вимірника ЕЗ.

Якщо утворюваний у результаті завантаження ЕЗ відводиться заземленням, то тоді можна зафіксувати струм витоку, що проходить через заземлення, міліамперметром.

Величина струму витоку і час витоку ЕЗ є інформацією для оцінки величини генерованого при завантаженні діелектричної рідини в резервуар величини ЕЗ і визначається як

$$q = I \cdot \tau, \quad (4.2)$$

де I - величина струму витоку, А / с; τ - час витоку заряду, с.

Натурні експериментальні дослідження ПРП, що забезпечує зниження ЕЗ, який виноситься на поверхню завантажуваної в резервуар рідини, проводилися на полігоні оперативно-тактичної підготовки.

Температура повітря при проведенні експерименту була $7,5^{\circ}\text{C}$, вологість - 60%, швидкість вітру - 6 м / с, тиск - 738 мм рт. ст.

Експериментальна установка складалася з естакади (рис. 4.15, 4.16), основного резервуара (обсяг - 200 дм^3), попередньо заповненого бензином АІ-92, і прийомних резервуарів (обсяг - 200 дм^3) із вбудованим ПРП і без нього. Приймальні резервуари з'єднувалися з основним резервуаром трубопроводом з вентилем. ВВДР надходила самопливом, при відкриванні вентиля, з основного резервуара в приймальний за рахунок різниці висот знаходження резервуарів.



Рис. 4.15. - Фотографія експериментальної установки

Обидва резервуари були встановлені на діелектричну підставку з вулканізованої листової гуми для виключення витoku утворюваного ЕЗ. Приймальний резервуар із вбудованим завантажувальним пристроєм заземлювали. Заземлення здійснювали мідним багатожильним проводом

довжиною 4,5 м від привареного до резервуару болта до заглибленого в землю металевого штиря. Опір заземлення становив менше 1 Ом. До заземлювального проводу під'єднували (послідовно) міліамперметр для вимірювання струму витoku СЕ. З протилежного боку від заземлюючого болта на висоті 60 см від дна резервуара проводили вимір величини напруженості ЕЗ, сформованого на поверхні резервуара, використовуючи вимірювач параметрів електростатичного поля ВПЕП-1. Фіксацію величини струму витoku, часу витoku і величини поверхневого ЕЗ проводили за допомогою відеокамери [176].

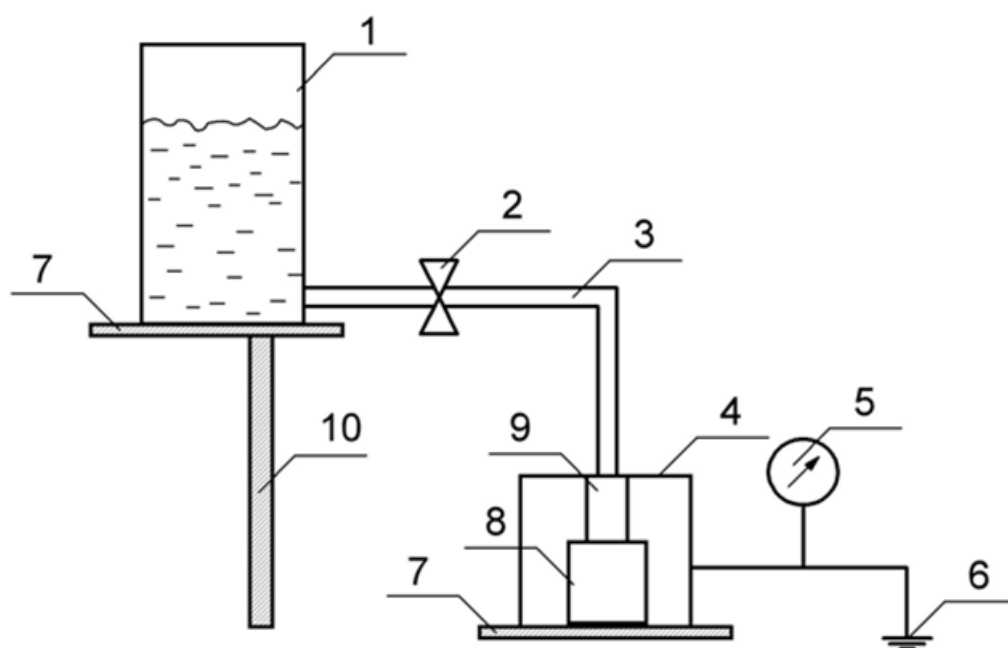


Рис. 4.16. - Схема експериментальної установки: 1 - основний резервуар; 2 - вентиль; 3 - сполучна труба; 4 - приймальний резервуар; 5 - вимірювальний прилад (міліамперметр); 6 - заземлення; 7 - ізоляційні прокладки; 8 - ПРП; 9 - насадка на трубу; 10 - естакада

На першому етапі основний резервуар, встановлений на естакаду висотою 2 м, об'ємом 200 дм³, заповнювали бензином АІ-92. Заземлення

приймального резервуара не виконували. За допомогою вимірника ЕЗ і переносного заземлення домагалися відсутності початкового ЕЗ на поверхні обох резервуарів.

Повністю відкривали вентиль і фіксували величину ЕЗ на поверхні приймального резервуара.

На другому етапі основний резервуар, встановлений на естакаду висотою 2 м, об'ємом 200 дм³, заповнювали бензином АІ-92. Під'єднували заземлення і міліамперметр до приймального резервуару. За допомогою вимірника ЕЗ і переносного заземлення домагалися відсутності початкового ЕЗ на поверхні обох резервуарів.

Повністю відкривали вентиль на сполучній трубі і фіксували величину струму витоку і час витоку за допомогою відеокамери. Загальний час витікання рідини з резервуара в резервуар становило 300 с.

Середні значення результатів апробації працездатності завантажувального пристрою наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2.

Результати апробації працездатності завантажувального пристрою

Приймальний резервуар	Напруженість електростатичного поля, Е, кв / м	Максимальна величина струму витоку, І, мА	Час витоку, τ, з	Заряд, відведений від резервуара, q, мКл
З вбудованим ПРП	1	0,01	35	$q_2 = 0,01 \cdot 35 = 0,35$
Без ПРП	20	2	60	$q_1 = 2 \cdot 60 = 120$

З таблиці 4.2 бачимо, що напруженість електростатичного поля, сформованого на поверхні приймального резервуара, в 20 разів менше при використанні розробленого ПРП і загальний заряд, відведений зі струмом витоку, в 342 рази менше ($q_1/q_2 = 120/0,35$), ніж заряд, відведений від резервуара, що не має завантажувального пристрою.

4.5. Висновки

1. Експериментальне дослідження пожежонебезпеки процесу наповнення резервуарів нафтопродуктами показало, що наявність заземлення призводить до зменшення часу релаксації в кілька разів та величини максимального заряду більше ніж в 10 разів.

2. Розроблено лабораторну установку, що дозволяє визначати величину напруженості поля поверхневого заряду і його зміну з часом, а також визначати величину додаткового заряду, що утворюється в рідині при завантаженні її в резервуар.

3. Розроблено технічне рішення пристрою, що сигналізує про накопичення критичної величини ЕЗ на поверхні ГР, яка служить інформацією обслуговуючому персоналу для вживання превентивних заходів.

4. Результати полігонних експериментальних досліджень завантажувального пристрою показали, що напруженість електростатичного поля, сформованого на поверхні приймального резервуара, в 20 разів менше при використанні розробленого завантажувального пристрою, і загальний заряд, відведений зі струмом витоку, в середньому в 300 разів менше, ніж заряд, відведений від резервуара, що не має завантажувального пристрою.

5. Показано, що при релаксації ЕЗ у заповненому резервуарі завжди залишається об'ємний ЕЗ, який тривалий час (більше 400 с) не досягає нульового значення, що створює небезпеку його перерозподілу з виникненням критичних значень при випадковому накладенні зовнішніх електромагнітних полів.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, яка є завершеним науковим дослідженням, наведено результати розв'язання актуальної науково-практичної задачі зі зниження пожежовибухонебезпеки процесу завантаження в резервуари горючих і легкозаймистих речовин:

1. Проведено аналіз способів, що забезпечують підвищення пожежовибухобезпеки при проведенні технологічних процесів завантаження ГР і ЛЗР в резервуари, та показано, що одним зі способів є мінімізація електричного заряду при потраплянні рідини до резервуарів за рахунок використання спеціальних приймально-роздавальних пристроїв.

2. Показано, що в якості одного з критеріїв пожежовибухонебезпеки процесу завантаження в резервуари горючих і легкозаймистих речовин можна приймати час релаксації електричного заряду.

3. На підставі рішення турбулентного руху рідини, що ґрунтується на рівняннях нерозривності і рівнянні руху в'язкої нестисливої рідини - рівнянні Нав'є-Стокса, за допомогою програмного комплексу FlowVision і результатів лабораторних досліджень встановлено, що при надходженні до резервуару вуглеводневих рідин, незалежно від величини обсягу ємності резервуара, відбувається вертикальний рух рідини по стінках резервуара, що є однією з причин додаткової електризації рідини і змінює величину сумарного заряду, що надходить з рідиною.

4. Запропоновано приймально-роздавальний пристрій, який забезпечує перебування струменя, що надходить в резервуар ВВДР в затопленому стані, протягом часу, достатнього для релаксації катафоричного ЕЗ внесеного в резервуар з потоком рідини, і перешкоджає утворенню додаткового ЕЗ, шляхом зниження турбулентності потоку і

дозволяє зменшити формування на поверхні завантажуваної в резервуар рідини ЕЗ до безпечних величин. Також розроблена лабораторна установка, що дозволяє визначати величину напруженості поля поверхневого заряду і його зміну з часом, а також визначати величину додаткового заряду, що утворюється в рідині при завантаженні її в резервуар.

5. Виявлено, що величина поверхневого заряду рідини, яка надходить до резервуару, залежить від часу знаходження струменя рідини в об'ємі до її виходу на поверхню. Доведено, що мінімальний час, який має бути забезпечено, щоб струмінь був затопленим, для попередження виносу заряду критичної величини на поверхню рідини, становить 1,4 с.

6. Запропоновано аналітичну модель для розрахунку часу релаксації, внесеного з потоком ВВДР ЕЗ, з урахуванням змінної площі контакту ВВДР із поверхнею резервуара, а також швидкості релаксації носіїв ЕЗ (іонна та катафорична провідність).

7. Показано, що при релаксації ЕЗ у заповненому резервуарі завжди залишається об'ємний ЕЗ, який тривалий час (більше 400 с) не досягає нульового значення, що створює небезпеку його перерозподілу з виникненням критичних значень при випадковому накладенні зовнішніх електромагнітних полів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Басманов А.Е. Локализация пожаров в резервуарах с нефтепродуктами /А.Е. Басманов, А.А. Михайлюк. – Харьков: НУГЗУ, 2011. – 108 с.
2. Дело возбуждено после пожара на нефтебазе в Мурманске. Режим доступа: <https://ria.ru/20140128/991740228.html>. – Дата доступа: 16.06.2018.
3. Три человека пострадали в результате крупного пожара на нефтебазе в Югре. Режим доступа: https://tvzvezda.ru/news/vstrane_i_mire/content/201810310546-fglf.htm. – Дата доступа: 16.06.2018.
4. All tank fires extinguished at ITC Deer Park. Режим доступа: <https://www.fox5dc.com/news/all-tank-fires-extinguished-at-itc-deer-park>. – Дата доступа: 16.06.2018.
5. Пожар на нефтебазе под Васильковом: кто виноват, и чем это грозит экологии. Сайт Апостроф. Режим доступа: <https://apostrophe.ua/article/society/accidents/2015-06-09/pojar-na-neftebaze-pod-vasilkovom-kto-vinovat-i-chem-eto-grozit-ekologii/1827>.
6. Взрыв на АЗС в Переяславе-Хмельницком: ГосЧС сообщает об увеличении числа погибших до пяти человек Сайт 112.UA. Режим доступа: <https://112.ua/avarii-chp/vzryv-na-azs-v-pereyaslave-hmelnickom-goschs-soobschaet-ob-velichenii-chisla-pogibshih-do-pyati-chelovek-52651.html>. – Дата доступа: 16.06.2018.
7. Пожар на нефтебазе в Шымкенте удалось потушить спустя сутки сайт inbusiness.kz Режим доступа: <https://inbusiness.kz/ru/last/pozhar-na-neftebaze-v-shymkente-udalos-potushit-spustya-sut>.

8. Buncefield explosion: 'I thought a plane landed on us'. Режим доступа: <https://www.bbc.com/news/uk-england-beds-bucks-herts-34919922>. – Дата доступа: 16.06.2018.

9. Джумагалиев, Р. М. Анализ пожаров на объектах нефтегазовой отрасли Казахстана / Р.М. Джумагалиев // Технологии безопасности. – 2011.– №3 (48). – С.4–12.

10. Марков, А. Г. Электростатическая искробезопасность подземных двустенных полимерных резервуаров для хранения светлых нефтепродуктов : дис. ... канд. техн. наук : 05.26.03 / А. Г. Марков. – М., 2016. – 199 л.

11. Петрова, Н.В.; Чешко, И.Д.; Галишев, М.А. Анализ практики экспертного исследования пожаров на объектах хранения нефти и нефтепродуктов // Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России», №. 3, – 2016 – С. 40-46.

12. Кондрашова, О.Г., Назарова, М.Н. Причинно-следственный анализ аварий вертикальных стальных резервуаров // Нефтегазовое дело, 2004. Электронный журнал. Режим доступа: <http://www.ogbus.ru>. Дата обращения: 10.08.2014.

13. О гражданской защите : Закон Респ. Казахстан от 11 апр. 2014 г. № 188-V ЗРК // Казахская правда. – 15 апр. 2014 г. № 72 : с изм. и доп. от 01 июня 2018 г.

14. О техническом регулировании : Закон Респ. Казахстан от 9 нояб. 2004 г. № 603 II // Казахская правда. – 13 нояб. 2004 г. №259-260.

15. Резервуары стальные горизонтальные для нефтепродуктов. Технические условия : ГОСТ 17032-2010. – Взамен ГОСТ 17032-71 ; введ. 01.01.2012. – М. : Стандартиформ, 2011. – IV, 11 с.

16. Электростатическая искробезопасность. Общие технические требования и методы испытаний : ГОСТ 31613-2012. – Введ. 15.02.2013. – М. : Стандартинформ, 2013. – IV, 16 с.

17. Правила пожарной безопасности : утв. постановлением Правительства Респ. Казахстан, 9 окт. 2014 г., № 1077 : с изм. и доп. от 29.12.2017 г. № 919. // Казахстанская правда от 20 нояб. 2014 г. № 227; от 27 нояб. 2014 г. № 232. – САПП Респ. Казахстан. – 2014. – № 62-63. – С. 577.

18. Общие требования к пожарной безопасности : ТР : утв. постановлением Правительства Респ. Казахстан 16.01.2009г. № 14. : с изм. и 121 доп. от 07.12.2012 : вступ. в силу 17.08.2009. // Казахстанская правда от 17 февр. 2009. – № 40-41. – САПП Респ. Казахстан. – 2009. – № 1-2. – С. 2.

19. Требования промышленной безопасности к стационарным, контейнерным и передвижным автозаправочным станциям : утв. приказ. Министра по чрезвычайн. ситуациям Респ. Казахстан, 6 авг. 2012 г., № 349.

20. Требования к безопасности нефтебаз и автозаправочных станций: ТР : утв. постановлением Правительства Респ. Казахстан 25.05.2009г. № 514. // Казахстанская правда от 10 июня 2008. – № 125-126.

21. Правила технической эксплуатации складов нефтепродуктов : утв. постановлением М-ва по чрезвычайн. ситуациям Респ. Беларусь, 30 сент. 2004 г., № 31 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2004. – № 163. – 8/115548.

22. Магистральные нефтепроводы. Пожарная безопасность. СТ РК-2080-2010. – Введ. 01.01. 2012. – Астана : Нормативные документы по стандартизации, 2010. – 6 с.

23. Правила технической эксплуатации резервуаров магистральных нефтепроводов и нефтебаз [Электронный ресурс] : РД 153-39.4-078-01. –

Введ. 10.04.2001 // Знайтивар.Ру. – Режим доступа: <http://vzrk.ru/public/images/25.pdf>. – Дата доступа: 07.03.2018

24. Оразбаєв А.Р., Кондратович О.А. Рекомендації для рятувальників з безпечних дій при ліквідації аварійного закінчення нафтопродуктів з резервуара. Об'єднання теорії та практики - запорука підвищення боєздатності оперативно-рятувальних підрозділів: Зб. тез. матеріалів Всеукр. наук.-практ. конф., Харків, 21 берез. 2013 р. Нац. ун-т цивіл. захисту України. Харків, 2013. С. 58-59.

25. Правила обеспечения промышленной безопасности для опасных производственных объектов в нефтехимической, нефтеперерабатывающей отраслях, нефтебазах и автозаправочных станциях. : приказ М-ра по инвестициям и развитию Респ. Казахстан от 30 дек. 2014 г., № 342 // Реестр государственной регистрации нормативных правовых актов Республики Казахстан от 13.02.2015 г. – №10256.

26. Ергин, Д. Добыча: Всемирная история борьбы за нефть, деньги и власть /Д. Ергин. – М. : «Альпина Паблишер», 2011. – 944 с.

27. Власова, Е.П. Повышение безопасности систем хранения нефти путем нейтрализации статического электричества : дис. ... канд. техн. наук / Е.П. Власова. –Тюмень, 2008. – 110 л.

28. James L. Pharr, Stephen L. Fowler, Timothy R. Jonas. Electrostatic discharge fires at retail fuel transfer facilities revisited //SFI International Symposium on Fire Investigation Science and Technology 2010, Pp. 457 -474.

29. Martin Glor, Peter Thurnherr Ignition Hazards Caused by Electrostatic Charges in Industrial Processes. - Edition February, 2015.
https://www.thuba.com/display.cfm/id/102744/disp_type/display/filename/elektrostatik_e.pdf

30. Нгуен, К.В. Предотвращение каскадного развития пожара на автозаправочных станциях Республики Вьетнам ограничением разлива

нефтепродукта при разгерметизации сливного патрубка автоцистерны. Автореферат дис. на соис. уч. ст. к.т.н. М. : 2011. – 28 с.

31. Thompson Jamie Static Electricity and Refueling Fires July 1, 2000
<https://www.petroplaza.com/knowledge/2000>

32. Газета. Ru «Темно и много дыма»: трагедия на танкере
<https://www.gazeta.ru/social/2019/06/11/12408103.shtml>

33. Oil Tank Fire Caused by Static Discharge. Messages for Manufacturing Personnel. Oil Tank Fire Caused by Static Discharge. December 2007. <http://sache.org/beacon/files/2007/12/en/read/2007-12-Beacon-s.pdf>

34. Hillary Cohen Static Spark Set Off Fire and Explosions at Solvents Facility Investigation Finds Equipment Not Intended for Flammable Service or Properly Bonded and Grounded //Inspectioneering Journal September/October 2008

35. Amanda Sillicker Little spark, big flame. Canadian Occupational Safety <https://www.cos-mag.com/personal-process-safety/29648-little-spark-big-flame/>. – Дата доступа: 20.04.2017.

36. Горових О.Г., Оразбаєв А.Р. Питання наукового обґрунтування причин вибухів і пожеж на нафтоховищах. Вісник Кокшетауського технічного інституту МНС Республіки Казахстан. 2012. № 4. С. 39-42.

37. Ю.Н. Шебеко, И.А. Больдьян, Ю. И. Дешевых, Д.М. Гордиенко, А. Н. Гилетич, И. М. Смолин, Д. С. Кириллов. Оценка пожарной опасности крупномасштабного терминала отгрузки нефти на основе концепции пожарного риска // Территория Нефтегаз № 8, 2006, С. 68-75.

38. Lang Xu-qing, Liu Quan-zhen, Gong Hong Study of Fire Fighting System to Extinguish Full Surface Fire of Large Scale Floating Roof Tanks //Procedia Engineering №11, 2011. Pp.189-195.

39. Шевцов С. А., Каргашилов Д. В., Быков И. А. К методике определения расчетных величин пожарного риска наземных резервуаров с

нефтепродуктами //Современные проблемы гражданской защиты, № 1 (22), 2017. - С. 42-48.

40. Yi Zhou, Xiaogang Zhao, Jianyu Zhao, Du Chen Research on Fire and Explosion Accidents of Oil Depots // CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS VOL. 51, 2016 pp 163-168.

41. Гудзь, Д. В. Исследование методов оценки качества нефтепродуктов на нефтебазах : дис. ... канд. техн. наук :05.20.03 / Д.В. Гудзь. – М., 2008. –172 л.

42. Кубеков, Т. Анализ: Перспективы развития рынка розничной торговли нефтепродуктов. [Интернет ресурс]. Режим доступа: <http://yvision.kz/post/222651>. Дата доступа: 12.08.2014.

43. Michael G. Dyer Static Electric Discharge Hazard On Bulk Oil Tank Vessels Phase 1 Report 2004, p.23.

44. Fire Prevention for the Oil and Gas Industry // Режим доступа <https://blog.rmiwyoming.com/fire-prevention-for-the-oil-and-gas-industry>. – Дата доступа: 16.06.2018.

45. Sun Lin, Pan Yi, Yang Shuangchun.The Cause of Fire and Preventive Measures in Oil Depot // International Journal of Engineering Research and Developmen. Volume 4, Issue 11, (2012), pp. 55-57.

46. Kai Tang, Xilin Dong, Qiyun Guo. Research on China Petroleum and Chemical Fire Safety Countermeasure [J]. Journal of Chinese People's Armed Police Force Academy, 2007, 23 (10): pp. 44-47.

47. Juanjuan Cui. Oil Depot Fire and Explosion Risk Analysis and Prevention [J]. Xinjiang Chemical, 2008, 18 (4): 55 p.

48. Оразбаєв А.Р. Теоретичний аналіз природи виникнення вибухів в резервуарах при наявності в паливі диспергованої води (повітря). Вісник Командно-інженерного ін-ту МНС Респ. Білорусь. 2015. № 2. С. 23-29.

49. Jianrong Huang, Maosheng Liu, The Evaluation Methods of Depot Fire Safety Effects and Fire Fighting [J]. Fire Technique and Products Information, 2006, 13(12): pp. 29-31.

50. Boumans A.A. The theory of electrification in low conductivity fluids. - Physika 23, 1957. p. 1038-1047.

51. Gavis J., Koszman I. Development of charge in lowconductivity liquids flowing past surfaces; a theory of the phenomenon in tubes. - J.Coll. Sci., August, 1961. vol. 16, p. 375-391.

52. Бобровский, С.А. Защита от статического электричества в нефтяной промышленности. / С.А. Бобровский, Е.И. Яковлев. – М. : Недра, 1986. – 160 с.

53. Захарченко, В.В. Электризация жидкостей и ее предотвращение. /В.В. Захарченко, Н.И. Крячко, Е.Ф. Мажара и др. – М. : Химия, 1975. – 127 с.

54. Захарченко, В.В. Электризация жидкостей в аппаратах резервуарах и методы ее снижения. / В.В. Захарченко, под ред. В.А. Линецкого. Обзорная информация. Состояние и совершенствование техники безопасности в химической промышленности. – М. : 1974. – 40с.

55. Галка, В.Л., Щигловский, К.Б. Нормативные документы по обеспечению электростатической искробезопасности. // Материалы VII Международной научно-технической конференции «Проблемы повышения технического уровня электроэнергетических систем и электрооборудования кораблей, плавучих сооружений и транспортных средств». ФГУП «ЦНИИ СЭГ», Санкт-Петербург, 2000. – с. 49-51.

56. Рыбаков, К.В. Борьба с электризацией углеводородных топлив при перекачках и фильтрации Сер. «Транспортирование и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья / К.В. Рыбаков, Ю.М. Кузнецов – М. : ЦНИИТЭнефтехим, 1980. – 48 с.

57. Максимов, Б.К. Электростатическая безопасность при заполнении резервуаров нефтепродуктами / Б.К. Максимов, А. А. Обух, А. В. Тихонов. – М. : ЭНЕРГОАТОМИЗДАТ, 1989. – 152 с.

58. Блинов, А.А. Защита от статического электричества объектов НПЗ, нефтебаз, и трубопроводов. Серия. «Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья». Тематический обзор / А.А. Блинов. – М. : ЦНИИТЭнефтехим, 1985. – 37с.

59. Путко, А.Э. Разработка методов расчета процессов электризации нефти в трубопроводах и хранилищах цилиндрического типа : дис. ... канд. техн. наук : 05.26.03 / А. Э. Путко. – Тюмень, 2007. – 132 л.

60. Кицис, С.И., Путко, А.Э. К теории электризации нефти в нефтехранилищах. «Известия вузов. Нефть и газ», 2004, №1, с.74-82.

61. O. Stern. Zur Theorie der electrolytischen Doppelschicht. Z. Electrochem. 30, 1924. pp. 508-516,.

62. T. Paillat, E. Moreau, G. Touchard, Space charge density at the wall in the case of heptane flowing through an insulating pipe //Journal of Electrostatics, Vol. 53, Issue 2, 2001. pp.171-182

63. E. Moreau, T. Paillat, G. Touchard. Space charge density in dielectric and conductive liquids flowing through a glass pipe. //Journal of Electrostatics, Vol. 50-51, 2001. pp. 448-454.

64. G. Touchard, Flow electrification of liquids. //Journal of Electrostatics, Vol. 50-51, 2001. pp. 440-447.

65. F. Perisse, J. Vazquez-Garcia, T. Paillat, G. Touchard. Fuel electrification: moisture and temperature influence. //Journal of Electrostatic, vol. 63, 2005. pp. 481-487.

66. J. Vazquez-Garcia, J. Rivenc, A. Agneray, T. Paillat, G. Touchard. A critical approach to measure streaming current : case of fuel flowing through

conductive and insulting polymers pipes. IEEE Transations on Industry Applications. Vol. 41, 2005. pp. 1335-1342.

67. Трофімов, Л. Электризация углеводородных топлив как способ получения электрической энергии высоких напряжений. Національний авіаційний університет. / Л. Трофімов О.Л. Матвеева, О.М. Зубченко. – Київ. : 06.01.2008 г.

68. Постановление Совета Министров СССР №247/11 от 30.05.73г. «О научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах в области разработки методов и средств защиты от статического электричества».

69. Sullivan (Sully) D. Curran PE Static Ignition Hazards When Handling Petroleum Products. <http://www.fiberglasstankandpipe.com/wp-content/uploads/2015/01/lightning-static-electricity-stray-currents.pdf>

70. Thompson Jamie. Static Electricity and Refueling Fires. July 1, 2000
Режим доступа: <https://www.petroplaza.com/knowledge/2000>. – Дата доступа: 02.02.2018.

71. Прибылов, В. Н. Электризация слабопроводящих жидкостей при течении в каналах и трубах : дис. ... канд. физ.-мат. наук : 05.26.03 / В.Н. Прибылов 01.02.05 : М., 2005. – 128 л.

72. TRBS 2153 (ehemals BGR132) «Technische Regel Betriebssicherheit 2153. Vermeidung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen». (Deutschland) 2009.

73. NFPA 77 «Recommended Practice on Static Electricity» (2014). p.80.

74. API RP 2003 «Protection Against Ignitions Arising Out of Static, Lightning, and Stray Currents». American Petroleum Institute. 2008. p.47.

75. SSA Prevention Series №. 2017 (G). «Statische Elektrizität Zündgefahren und Schutzmassnahmen» Internationale Sektion der IVSS für die Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten in der chemischen

Industrie der internationalen Vereinigung für soziale Sicherheit (IVSS)», 1995. ISBN 92-843-70914, ISSN 1015-8022.

76. Оразбаев А.Р., Горових О.Г. Вплив режиму руху потоку діелектричної рідини в резервуарі на небезпеку створення вибухонебезпечної ситуації. Теорія і практика цивільного захисту: матеріали міжвуз. наук.-практ. конф., Кокшетау 20 березня 2014 г. Кокшетаус. техн. ін-т МНС Респ. Казахстан. Кокшетау, 2014. С. 44-50.

77. РД Правила технической эксплуатации резервуаров магистральных нефтепроводов и нефтебаз РД 153-39.4-078-01. /Бронштейн И.С., Векштейн М.Г., Гумеров А.Г. – Уфа, 2001.

78. ASTM D 4865 – 09. Standard Guide for Generation and Dissipation of Static Electricity in Petroleum Fuel Systems. 2014. p.8

79. By Prakash Patel. Weiping Wang. Static Electricity Hazards and the Handling of Petroleum Products/ SmartTechLLC.com. p.7. <http://smarttechllc.com/wp-content/uploads/2016/01/SmartTech-Whitepaper.pdf>

80. РД 153-39.4-113-01 Нормы технологического проектирования магистральных нефтепроводов. Дата введения 2002-07-01. – 44 с.

81. A. Klinkenberg, J.L., Van Der Minne. Electrostatics in Petroleum Industry: Prevention of Explosion Hazards. Oxford, United Kingdom, Elsevier Science Ltd. 1958. 192 p.

82. Canadian General Standards Board, «Turbine fuel, aviation, kerosene type», CAN/CGSB-3.23-M86, 1986.

83. Canadian General Standards Board, «Turbine fuel, aviation, wide cut type», CAN/CGSB-3.22-M86, 1986.

84. Paillat, T., Touchard G. Electrical charges and liquid motion //Journal of Electrostatic Vol. 67, 2009, pp. 326-334.

85. Куваева, Е.Н. Влияние многофункциональной присадки на экологические и эксплуатационные свойства моторных топлив, дис. ... канд. техн. наук 05.26.03 /Е.Н. Куваева. – Тюмень, 2000. – 162 л.
86. ТРТС 013/2011. О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту. Технический регламент Таможенного Союза. От 18.10.11 г. № 826.
87. Данилов, А. М. Развитие исследований в области присадок к топливам (обзор) // Нефтехимия, 2015, том 55, № 3, С. 179-190.78.
88. Лобашова, М. М. Улучшение качества дизельных и котельных топлив присадками : дис. ... канд. техн. наук : 05.26.03 / М.М. Лобашова. - М., 2014. – 125 л.
89. Q. Zhang Z. Lü F. Zhan S. Yu. Synthesis and evaluation of fuel anti-static additive of poly sulfones Shiyou Xuebao, Shiyou Jiagong/Acta Petrolei Sinica (Petroleum Processing Section): October, 2010, pp.152-156.
90. Static electricity. Page imperial chemical industries limited petrochemicals division an engineer's casebook. №. 126. – p.9.
91. В.П. Назаров, А.А. Корнилов. Эффективность флегматизации при обеспечении пожаровзрывобезопасности емкостного оборудования Интернет-журнал «Технологии техносферной безопасности» (<http://ipb.mos.ru/ttb>) Выпуск № 4 (32) – август 2010 г.
92. Булгаков В.В. Обеспечение пожаровзрывобезопасности огневых аварийно-ремонтных работ на резервуарах способом флегматизации: дис. ... канд. техн. наук : 05.26.03 / В.В. Булгаков. – М., 2001. – 236 л.
93. SFAR 88 Aircraft Fuel Tank Safety. Fuel tank system fault toleranceevaluation require- ments.

94. Guidelines for the control of static electricity in industry. Published by the Occupational Safety and Health Service Department of Labour Wellington New. November, 1999.

95. Горових О.Г., Оразбаєв А.Р. Локальні швидкості руху рідини в початковий момент завантаження нафтопродукту в резервуар. Надзвичайні ситуації: теорія, практика, інновації: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., Гомель, 22-23 травня 2014 г. Гомель. інженер. ін-т МНС Респ. Білорусь. Гомель, 2014. С. 44-45.

96. РД 03-409-01. Методика оценки последствий аварийных взрывов топливно-воздушных смесей (с изм. и доп.) : постановление Госгортехнадзора РФ от 26.06.2001. // Сборник документов Госгортехнадзора России, сер.27, вып. 2. – М.: НТЦ «Промышленная безопасность», 2001. – 224 с.

97. Электрометры для измерения заряда статического электричества. http://electric.myprom.ru/product/elektrometry-dlya-izmereniya-zaryada-staticeskogo-elektrichestva_572.

98. Paillat, G. Touchard, «Capacitive sensor» to measure flow electrification and prevent electrostatic hazards. Sensors 2012. 12, 2012, pp. 14315-14326.

99. J. M. Cabaleiro, T. Paillat, O. Moreau, G. Touchard. Flow electrification of dielectric liquids in insulating channels: limits to the application of the classical wall current expression. //Journal of Electrostatic, vol. 66, 2007, pp. 79-83.

100. T. Paillat, O. Moreau, J.M. Cabaleiro, F. Perisse, G. Touchard. Electrification par écoulement modélisation électrique. // Journal of Electrostatic, vol. 64, pp. 485-491, 2006. (франц).

101. Кицис С.И., Путко А.Э. Расчеты электризации нефти в цилиндрических резервуарах. Электроэнергетика и применение передовых

современных технологий в нефтегазовой промышленности. Материалы областной научно-практической конференции. – Тюмень: Нефтегазовый университет, 2003. – С.66-68.

102. J. Vazquez-Garcia, J. Rivenc, A. Agneray, T. Paillat, G. Touchard, A critical approach to measure streaming current: case of fuel flowing through conductive and insulting polymers pipes. //IEEE Transations on Industry Applications. vol. 41, 2005, pp. 1335-1342.

103. Горових О.Г., Оразбаєв А.Р. Про необхідність подальших досліджень в області наукового обґрунтування причин вибухів і пожеж на нафтосховищах. Актуальні проблеми пожежної безпеки, попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій: Зб. матеріалів III міжнар. наук.-практ. конф., Кокшетау 24 Жовтня. 2012 г. Кокшетаус. техн. ін-т МНС Респ. Казахстан. Кокшетау, 2012. С. 159-164.

104. Wang Liang-wang, Chen Guo-hua. Dynamic Distribution of Electrostatic Potential in Vertical Cylindrical Oil Tank During Filling. //Journal of South China University of Technology (Natural Science Edition).

105. Min He, Qingchun Ma, Laibin Zhang. Numerical study on electrostatic potential distribution of large cylindrical oil tanks. //Journal of Electrostatics Vol. 75, June 2015, pp. 77-84.

106. Правила защиты от статического электричества в производствах химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности. – М. : Химия, 1973. – 60 с.

107. Отака, Д., Кобуиси, Т. // ВИНТИ № 36568/3. – 1961. – Т.10, № 4. – 363 с.

108. А.с. № 562062, Н 05 F 3/00, 1977.

109. Патент США № 2907923 от 06.10.1959, НКИ 31732.

110. А.с. СССР, №1285632, 1977.

111. Енгибарян, С.Н. Абрамян, В.К. Способ предотвращения искровых разрядов электризованных жидкостей в емкостях // НАНРАиГИУА. – Vol. 61, Issue 1, P.88-92 электронный ресурс Режим доступа <http://tech.asj-oa.am/1590/1/11.pdf> или // Электротехника. – Дата доступа: 12.02.2015.

112. Бесчастнов, М.В. Взрывобезопасность и противоаварийная защита химико-технологических процессов. / М.В. Бесчастнов. – М. : Химия, 1983. – 472 с.

113. O. Stern. Zur Theorie der electrolytischen Doppelschicht. Z. Electrochem. Vol.30, 1924, pp. 508-516.

114. Смородин, Б. Л. Влияние модуляции электрического поля на распространение заряда в полярной слабопроводящей жидкости / Б. Л. Смородин, А. В. Тараут// Прикладная механика и техническая физика. Т. 49, №-о 1. 2008. –С. 3-12.28.

115. Smith C.W., Calderwood J.H. Application of a classical conductivity model to dielectric liquids. Proc. 7th Int. Conf. Cond, and Breakdown Diel. Liq. Berlin-West, 1981, p.115-119.

116. Conf. Cond. and Breakdown Diel. Liq. Dublin, 1972, p.129-135.

117. Maxwell J.C. A treatise on electricity and magnetism, v.1. 3rd edn. Oxford: Clarendon Press, 1892. - 276 p.

118. Mićo Gaćanović. Passive Elimination of Static Electricity in Oil Industry. Serbian journal of electrical engineering. Vol. 11, № 4 (special issue), December 2014, pp. 673-699.

119. Helmholtz, N.L.F. Ann.Phys., (2), 89, 211 (1853); (3), 7, 337 (1879).

120. Electrostatic Charge Evolution of a Falling Droplet Application to Splash Filling.

121. Клинкенберг, А. Теория электризации в нефтяной промышленности и ее практические следствия (фирма «Ройял-Датч-Шелл,

Гаага). Новейшие достижения нефтехимии и нефтепереработки. Сборник. Перевод с английского и редакция И.И. Абрамсона – М. : Химия, 1963. – С. 148-198.

122. Gogoros, V.V. Modeling of nonstationary processes / V.V. Gogoros, K.V. Polyansky, V.A. Polyansky, G.A. Shaposhnikova, A.A. Vartanyan. // J. of Electrostatics. 1995. Vol. 34, pp. 245–262.

123. Llangwang Wang, Guohua Chen. Dynamic distribution of electrostatic charge and potential in oil tanks during filling process. 27 November 2017, pp. 2791 – 2799.

124. Оразбаєв А.Р. Експериментальне визначення електростатичного заряду на поверхні вуглеводневих діелектричних рідин при їх завантаженні в ємності і забезпечення вимог пожежної електростатичного безпеки. Науковий вісник будівництва. 2019. Вип. 9. Т.2 С. 405-412.

125. Harold L.Walmsley. Voltage calculations for annular tanks partly-filled with charged liquid. //Journal of Electrostatics. Vol.71, Issue 6, December 2013, pp. 1011-1019.

126. Etim S.Udoetok, Anh N.Nguyen. Grounding resistance for control of static electricity ignition hazards. //Journal of Electrostatics. Vol. 69, Issue 1, February 2011, pp. 23-29.

127. Баннов, П.Г. Процессы переработки нефти. / П.Г. Баннов. – М. : ЦНИИТЭнефтехим, 2000. – 224 с.

128. T.Paillat, E.Moreau, G.Touchard. Flow electrification through porous media – Journal of Loss Prevention in the Process Industries. Vol. 14, Issue 2, March 2001, pp. 91-93.

129. “Electrostatics in the Petroleum Industry” №. 126 Static electricity/ Imperial chemical industries limited petrochemicals division.

130. Static Ignition Hazards When Handling Petroleum Products Sullivan (Sully) D. Curran PE, Executive Director.(проверка)

131. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ. изд-е : в 2 кн. / А. Н. Баратов [и др.] / – М. : Химия, 1990. – Кн.1. – 496 с.

132. Демидова, Н.Е. Электродинамика, электростатика /Н.Е. Демидова, Г.А. Демидов. – Нижний Новгород : ННГАСУ, – 2017. – 47 с.

133. Сидоров, А.И. Электромагнитные излучения. Конспект лекций / А.И. Сидоров, И. С. Окраинская. – Челябинск : Издательский центр ЮуРГУ, 2012. – 119 с.

134. Панкратьева, И. Л. Моделирование электрогидродинамических течений в слабопроводящих жидкостях / И. Л. Панкратьева, В. А. Полянский // Приклад. механика и техн. физика. – 1995. – Т. 36, № 4. – С. 36–44.

135. Дунаев, А.М. Особенности электростатической защиты транспортных судов /Ленингр. Высш. инж. мор. училище им. С.О. Макарова. / А.М. Дунаев - М. : В/О «Мортехинформреклама», 1990. – 36 с.

136. Berufsgenossenschaftliche Regeln für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit BG-Regel BGR 132 (bisherige ZH1/200) Vermeidung von Z und gefahrenin folge elektrostatischer Aufladungen, vom Marz 2003. – 136 с.

137. Горових О.Г., Оразбаєв А.Р. Визначення часу релаксації об'ємного електростатичного заряду, внесеного в резервуари з надходячою

діелектричною вуглеводневою рідиною. Вісник Полоц. держ. ун-ту. Сер. С. фонд. науки. 2015. № 4. С. 66-70.

138. Галка, В. Л. Электростатическая искробезопасность танкеров типа «Астрахань» / В. Л. Галка, Т. Ю. Данильченко, К. Б. Щигловский // Судостроение. – 2001. – №6. – С.40-42.

139. Кондратович О.А., Оразбаєв А.Р. Визначення причини виникнення пожеж при завантаженні нафтопродуктів в резервуари. Надзвичайні ситуації: попередження і ліквідація. 2018. Вип. 1. С.77-82.

140. Wilkes H., Schwarzbauer J. Hydrocarbons: An Introduction to Structure, Physico-Chemical Properties and Natural Occurrence Handbook of Hydrocarbon and Lipid Microbiology. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010. Pages 1-48.

141. Tank Truck Static Grounding Protection. January 15, 2016. <https://www.oilandgasproductnews.com/article/22425/tank-truck-static-grounding-protection>.

142. Галиакбаров, В.Ф., Салихова, Ю.Р. Расчёт гидродинамических характеристик процесса перемешивания нефтепродуктов в резервуарах // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2003. №1. URL: Режим доступа : http://ogbus.ru/authors/Galiakbarov/Galiakbarov_1.pdf. – Дата доступа: 10.12.14.

143. Souders, D. T. Modeling roughness effects in open channel flows / D. T. Sounders, C. W. Hirt // Flow -3D. – Mode of access: <https://www.flow3d.com/wp-content/uploads/2014/08/Modeling-Roughness-Effects-in-Open-Channel-Flows.pdf>. – Date of access: 14.03.2018.

144 FlowVision Версия 3.08.05 Руководство пользователя М. : ООО ТЕСИС, 2014. – 349 с.

145 PBC 1000 (резервуар вертикальный стальной объем 1000 куб. метров) [Электронный ресурс] // Проектирование, производство и монтаж

резервуаров и резервуарных конструкций. – Режим доступа: http://vzrk.ru/rezervuarnie_konstrukcii_rvs_1000.html. – Дата доступа: 14.03.2018.

146. Проектирование, производство и монтаж резервуаров и резервуарных конструкций [Электронный ресурс] / Волгоградский завод резервуарных конструкций. – Волгоград, 2014. – Режим доступа http://vzrk.ru/rezervuarnie_konstrukcii_rvs_1000.html. - Дата доступа: 11.01.2014.

147. Горових О.Г., Оразбаєв А.Р. Механізм електризації вуглеводневої рідини при заповненні нею резервуарів вертикального типу. Надзвичайні ситуації: освіта і наука. 2014. Т. 9. № 2. С. 16-22.

148. Горових О.Г., Оразбаєв А.Р. Визначення енергії розряду статичної електрики з падаючої краплею нафтопродукту. Об'єднання теорії та практики - запорука підвищення боєздатності оперативно-рятувальних підрозділів: Зб. тез. матеріалів Всеукр. наук.-практ. конф., Харків, 21 берез. 2013 р. Нац. ун-т цивіл. захисту України. Харків, 2013. С. 286-288.

149. Ломакин, В. О., Петров, А. И. Численное исследование вариантов компоновки основного резервуара стенда для натурных испытаний магистральных нефтяных насосов // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. – 2011. – №13. – С.1-14.

150. Тику, Ш. Эффективная работа: SolidWorks 2005. /Ш. Тику. – С.П-б. : – Питер, – 2006. – 819 с.

151. Козлов, А.Н. Основы топливообеспечения аэропортов гражданской авиации / А.Н. Козлов, М.Л. Немчиков.– М. : МГТУ ГА, 2007. – 92 с.

152. Назаров, В.П. Статистический анализ пожаров на объектах с обращением нефтепродуктов/Е.В. Ширяев, В.П. Назаров, А.В. Майзлиш //

Технологии техносферной безопасности – 2014. -№3. – Режим доступа: <http://ipb.mos.ru/ttb>. – Дата доступа: 16.06.2018.

153. Stratton, Julius Adams Electromagnetic Theory. New York and London: McGRAW-HILL Book Company, Inc. 1941. – 615с.

154. Сканапи, Г. И. Физика диэлектриков. (Область слабых полей) / Г. И. Сканапи. – М.–Л. : Государственное издательство физико-математической литературы, 1958. – 909 с.

155. Допустимые скорости движения жидкостей по трубопроводам и истечения в емкости (аппараты, резервуары) : РТМ 6-28-007-78 / Всесоюз. науч.-исслед. ин-т техники безопасности в хим. пром-сти. – М. : ВНИИТБХП, 1978. – 91 с.

156. Приемораздаточное устройство резервуара : пат. РФ 2191730 : МПК В65D90/00 / М. М. Гареев, Р. З. Нагаев, И. Ю. Хасанов, Ю. М. Яхин. – Оpubл. 27.10.2002.

157. Резервуар для нефти или нефтепродуктов : пат. РФ 2189929 : МПК В65D90/00 / К. Г. Никитин, Н. Н. Хази́ев, И. Ю. Хасанов, Ю. М. Яхин. – Оpubл. 27.09.2002.

158. Затворы или крышки : пат. РФ 2036124 : МПК В65D90/54 / Г. А. Гумеров, Р. С. Гумеров, Х. А. Азметов, С. М. Файзуллин, В. Л. Дворников, В. Г. Карамышев, А. А. Коршак, В. Е. Булыгин. – Оpubл. 27.05.1995.

159. Оразбаев, А.Р., Горових О.Г. Визначення константи часу релаксації електростатичного заряду в діелектричних рідинах. Пр. молодих вчених Владикавк. наук. центру Рос. акад. наук. 2014. Т. 14. № 1. С. 26-39.

160. Заборно-предохранительное устройство резервуара : пат. РФ 2120904 : МПК В65D90/22 / Х. А. Азметов, А. Г. Гумеров, Т. М. Касымов, У. Н. Саби́ров, Г. Г. Хоперский. – Оpubл. 27.10.1998.

161. Оразбаєв А.Р. Вибухобезпечне приймально-роздавальний пристрій для вертикальних резервуарів: пат. на корисну модель KZ 2404: МПК В65D90 / 22 / опубл. 18.09.2017.

162. Оразбаєв А.Р. Пристрій, що перешкоджає утворенню статичного заряду при завантаженні резервуарів. Надзвичайні ситуації: теорія, практика, інновації: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., Гомель, 19-20 травня 2016 г. Гомель. інженер. ін-т МНС Респ. Білорусь. Гомель, 2016. С. 112-113.

163. Горовых, О. Г. Приемо-раздаточное устройство вертикальных резервуаров для нефтепродуктов, обеспечивающее электростатическую безопасность при загрузке / О. Г. Горовых, А. Р. Оразбаев // Пожар. безопасность: проблемы и перспективы. – 2016. – Т. 2, № 1. – С. 17–19.

164. Оразбаєв А.Р. Попередження утворення джерела запалювання під час завантаження діелектричних вуглеводневих рідин в резервуари вертикального типу. Комунальне господарство міст. Серія: Технічні науки та архітектура. 2019. Вип. 3. С. 175-179.

165. Измеритель параметров электростатического поля ИПЭП-1. Инструкция по эксплуатации УШЯИ.411131.002 РЭ. – Минск : Опытный завод ОАО «МНИПИ», 2013. – 17 с.

166. Государственная система обеспечения единства измерений. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения: ГОСТ 8.207-76. – Введ. 01.01.1977. – М. : Государственный комитет стандартов Совета Министров СССР, 2011. – 12 с.

167. Грановский, В.А. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях / В.А. Грановский, Т. Н. Сирая. – Л. Энергоатомиздат, 1990 – 288 с.

168. Оразбаєв А.Р., Горових О.Г. Експериментальне визначення часу релаксації поверхневого заряду в діелектричних рідинах. Вісник Кокшетауського технічного інституту МНС Республіки Казахстан. 2014. № 1. С. 25-31.

169. Измеритель заряда статического электричества для измерения электростатических полей : пат. RU 2196339 : G01R29/12 / Б. К Сушко, Р. З. Бахтизин. – Оpubл. 10.01.2003.

170. Датчик измерителя напряженности электростатического поля : пат. РФ 2010140868/28 : МПК G01R 29/12 / В. С. Аксельрод, А. М. Елисеев. – Оpubл. 10.02.2012.

171. Устройство для измерения напряженности электростатического поля : пат. СССР 355582 : МПК G01R 29/12 / В. Н. Матков, П. Ю. Снегирев. – Оpubл. 30.11.1987.

172. Оразбаєв А.Р. Пристрій для визначення небезпечного рівня електризації нафтопродуктів в резервуарах: пат. на корисну модель KZ 1080 МПК G01R29 / 12 / опубл. 19.02.2014.

173. Оразбаєв А.Р., Горових О.Г. Контроль величини статичного заряду при перевалочних роботах з нафтопродуктами. Актуальні проблеми технічних та соціально-гуманітарних наук у забезпеченні діяльності служби цивільного захисту: матеріали міжнар. наук.-практ. конф., Черкаси, 4-5 квіт. 2013 р. Акад. пожеж. безпеки. Черкаси, 2013. Ч. 1. С. 51-53.

174. ГОСТ 12.1.033 81 Пожарная безопасность. Термины и определения (с Изменением № 1). Дата введения 1982-07-01.

175. Закон Республики Беларусь 15 июня 1993 г. № 2403-XII. О пожарной безопасности.

176. Физические величины: Справочник / А.П. Бабичев, Н.А. Бабушкина, А.М. Братковский и др. Под ред. И.С. Григорьева, Е.З Мейлихова. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.

ДОДАТОК

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з навчальної та методичної
роботи НУЦЗ України
кандидат психологічних наук, професор

«12» березня 2019 року



Акт

про використання результатів дисертаційної роботи «Зниження пожежовибухонебезпеки процесу завантаження в резервуари горючих та легкозаймистих речовин» у навчальному процесі.

Комісія в складі:

Голова комісії – начальник кафедри пожежної та техногенної безпеки об'єктів та технологій НУЦЗУ д.т.н., с.н.с. Ключка Ю.П.

Члени комісії:

– доцент кафедри пожежної та техногенної безпеки об'єктів та технологій НУЦЗУ к.т.н., доц. Григоренко О.М.;

– старший викладач кафедри пожежної та техногенної безпеки об'єктів та технологій НУЦЗУ к.т.н. Липовий В.О.,

склали цей акт про те, що результати дисертаційної роботи Оразбаєва Алішера Рахімжановича «Зниження пожежовибухонебезпеки процесу завантаження в резервуари горючих та легкозаймистих речовин» – підхід до створення лабораторної установки, що дозволяє визначати величину напруженості поля поверхневого заряду і його зміну з часом та результати математичного моделювання завантаження нафтопродуктів в резервуар, впроваджені в навчальний процес Національного університету цивільного захисту України при вивченні дисципліни «Пожежна безпека об'єктів підвищеної небезпеки».

Це дозволило підвищити ефективність навчального процесу та якість викладання тем про пожежовибухонебезпеку в резервуарних парках.

Голова комісії

Члени комісії

Юрій Ключка

Олександр Григоренко

Володимир Липовий

УТВЕРЖДАЮ
 Президент АО «НИИ пожарной
 безопасности и гражданской обороны»
 КЧС МВД Республики Казахстан
 Джумагалиев Р.М.
 28.03.2019 г.



АКТ

о практическом использовании результатов диссертационного исследования Оразбаева Алишера Рахимжановича на тему: «Снижение пожаровзрывоопасности процесса загрузки в резервуары горючих и легковоспламеняющихся веществ».

Комиссия в составе: вице-президента АО «НИИ ПБ и ГО» КЧС МВД РК Васиной И.А., начальника отдела технического регулирования Асановой А.А., главного научного сотрудника отдела технического регулирования Владыко А.В. настоящим подтверждает, что при разработке рекомендаций по повышению уровня пожарной безопасности объектов нефтегазового сектора Республики Казахстан используются результаты экспериментальных исследований в методике определения накопления критических величин статического электричества на резервуарном оборудовании и технологических коммуникациях нефтебаз, полученных Оразбаевым Алишером Рахимжановичем в результате исследования при выполнении диссертационных исследований на тему: «Снижение пожаровзрывоопасности процесса загрузки в резервуары горючих и легковоспламеняющихся веществ», на основе чего предлагаются организационные мероприятия и технические решения по обеспечению соответствующего уровня пожарной безопасности объектов.

Члены комиссии:

	Васина И.А.
	Асанова А.А.
	Владыко А.В.



УТВЕРЖДАЮ

И.о. начальника Кокшетауского
технического института КЧС МВД
Республики Казахстан
полковник гражданской защиты
К.Ж. Раимбеков

АКТ

о практическом использовании результатов диссертационного исследования Оразбаева Алишера Рахимжановича на тему: «Снижение пожаровзрывоопасности процесса загрузки в резервуары горючих и легковоспламеняющихся веществ» в образовательном процессе Кокшетауского технического института Комитета по чрезвычайным ситуациям Министерства внутренних дел Республики Казахстан.

Комиссия в составе: Начальника факультета очного обучения к.т.н. полковника гражданской защиты Карменова К.К., начальника кафедры пожарной профилактики к.т.н., майора гражданской защиты Альменбаева М.М. и начальника отдела организации научно-исследовательских и редакционно-издательских работ к.т.н. майора гражданской защиты Макишева Ж.К. настоящим подтверждает, что осуществлено внедрение в образовательный процесс Кокшетауского технического института КЧС МВД Республики Казахстан результатов экспериментальных исследований в методике определения накопления критических величин статического электричества на резервуарном оборудовании и технологических коммуникациях нефтебаз, полученных Оразбаевым Алишером Рахимжановичем в результате исследования при выполнении диссертационных исследований на тему: «Снижение пожаровзрывоопасности процесса загрузки в резервуары горючих и легковоспламеняющихся веществ» на основе чего, результаты используются при проведении лекционных занятий со слушателями Института, а также в практических занятиях по теме: «Пожарная безопасность опасных производственных объектов» дисциплины «Пожарная безопасность технологических процессов».

Члены комиссии:

 К.К. Карменов М.М. Альменбаев Ж.К. Макишев