

ИССЛЕДОВАНИЕ И ВЫБОР КРИТЕРИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ СЛАБОПРОВОДЯЩИХ ЖИДКОСТЕЙ В ЗАКРЫТЫЕ ОБЪЕМЫ

Кириллов О.Л., к.т.н., доцент кафедры энергетики, электротехники и физики Херсонского национального технического университета, e-mail: energetika@kntu.net.ua

В статье проведен анализ, исследование и выбор заряда Q в качестве критерия безопасности. В сравнении с другими критериями, например, потенциал φ и напряженность H , заряд является наиболее простым параметром для описания состояния электрической безопасности при заполнении нефтепродуктов в замкнутые объемы благодаря анализу уровня заряда в единице объема транспортируемой жидкости. Определены методы и дан анализ современных средств диагностирования при выявлении состояния опасного заряда в нефтепродукте, дан его простой анализ.

Ключевые слова: выбор заряда Q в качестве критерия безопасности, простой параметр описания состояния безопасности, заполнение нефтепродуктов в замкнутые объемы, анализ средств диагностирования, опасный заряд.

Введение. Эксперимент с получением результатов проведенных исследований процесса транспортирования слабопроводящих жидкостей (СПЖ) в замкнутые объемы в 60–70-е годы завершился в 1977 году. Группа по статистической электризации Лондонского института физики на симпозиуме «Критерий электростатического воспламенения» предложила в качестве критерия электростатической безопасности величину потенциала $\varphi \leq 35$ кВ, которая и была принята [1, 2]. Критерий представлял собою уровень безопасного потенциала поверхности СПЖ относительно стенок заполняемого объема, при котором не развиваются процессы зажигания или взрыва в паровоздушном пространстве над поверхностью заполняемой жидкости.

Результат анализа выбранного критерия не позволяет полностью понять механизм развития физического процесса создания поля, а лишь показывает связь заряда Q с потенциалом φ поверхности СПЖ [3], т.е. следствие результата накопления заряда в замкнутом объеме. Поэтому вопрос выбора критерия безопасности при транспортировке слабопроводящих жидкостей в закрытые объемы требует более детального рассмотрения.

Постановка задачи исследования. Обосновать и описать применение заряда Q в качестве нового критерия безопасности в процессе транспортирования слабопроводящих жидкостей в замкнутые объемы.

Цель исследования. Выбор нового критерия безопасности и нахождение взаимосвязи емкостных свойств заполняемого замкнутого объема с технологическими параметрами заполнения в процессе накопления энергии квазистатического поля.

Основная часть. Во время заполнения замкнутых объемов под действием гидродинамического потока СПЖ и благодаря его диэлектрическим свойствам создаются области, которые содержат композицию распределенных свободных и связанных зарядов, генерирующих в этих областях квазистатическое поле [1, 4]. В заполняемом пространстве создается 2-е области, каждая из которых обладает диэлектрическими свойствами и может быть рассмотрена как конденсатор (рис. 1а), имеющий обкладки из заряженной плоскости раздела областей I, II и внутренней поверхности заполняемого объема. Энергия W данного конденсатора определяется

$$W = \frac{C\varphi_{\text{пов}}^2}{2} \quad (1)$$

где C – емкость конденсатора, Φ ; $\varphi_{\text{пов}}$ – потенциал поверхности СПЖ относительно стенок заполняемого объема, В.

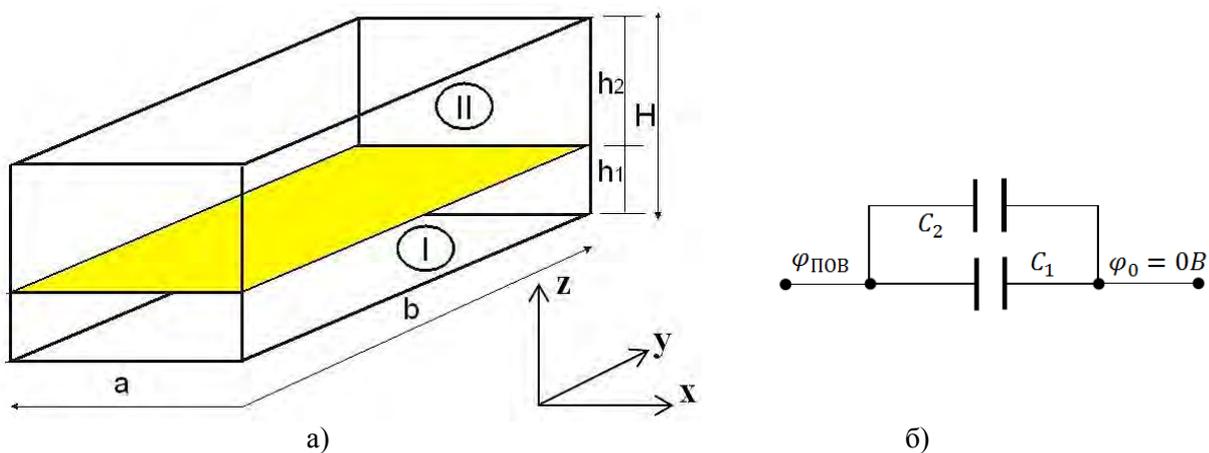


Рисунок 1 – а) схема заполнения объема, б) эквивалентная схема емкостей сред, заполняемых СПЖ

На рис. 1а показана схема заполнения объема, содержащего: область I – заполненную слабопроводящей жидкостью (СПЖ) с диэлектрической проницаемостью ϵ_1 ; область II – заполненную паровоздушной смесью (ПВС) над поверхностью СПЖ с диэлектрической проницаемостью ϵ_2 ; h_1 и h_2 – толщины слоев заполненных СПЖ и ПВС соответственно; H – высота заполняемого объема; a, b – длина и ширина сторон объема соответственно; x, y, z – направление расчетного сеточного метода в Декартовой системе координат при определении потенциальной картины заполняемого пространства.

На рис. 1б показана эквивалентная электрическая схема определения общей емкости заполняемого объема, образованного слоями СПЖ и ПВС.

Один слой h_1 конденсатора содержит свободные заряды, движимые гидродинамикой жидкости. Другой слой h_2 паровоздушная смесь – связанные заряды, поляризация которых вызвана движением свободных зарядов СПЖ.

В результате традиционного понимания емкости можно представить: что первой обкладкой конденсатора является непроницаемая и экранирующая область с потенциалом $\varphi_0 = 0$ кВ (внутренняя поверхность заполняемого объема), а второй обкладкой является заряженная плоскость раздела областей I и II, обладающая потенциалом на поверхности $\varphi_{\text{пов}} \leq 36$ кВ.

Таким образом, области I и II образуют в заполняемом объеме составной конденсатор из двух C_1 и C_2 (рис. 1б), а величина общего накопленного заряда в пространстве объема определяется:

$$Q = K_C \cdot \varphi_{\text{пов}} \cdot C, \quad (2)$$

где $C = C_1 + C_2$ – общая емкость областей, Φ ; K_C – коэффициент пропорциональности.

В процессе заполнения объема СПЖ меняется толщина слоев h_1, h_2 (рис. 1а), и соответственно емкость каждой из исследуемых областей согласно формуле:

$$C = \epsilon \epsilon_0 S / h, \quad (3)$$

где S – площадь поверхности электрода, m^2 ; h – толщина слоя области, м.

Накапливаемый заряд в танке Q создает квазистатическое поле [3, 4, 5], нормальная составляющая вектора электрической индукции которого в 1-й и 2-й средах непрерывна и равна $\bar{D}_{1n} = \bar{D}_{2n}$ соответственно, а тангенциальные составляющие напряженности поля на границе раздела диэлектриков СПЖ и ПВС также равны $\bar{E}_{1t} = \bar{E}_{2t}$. Так как $\bar{D}_{1n} = \epsilon_{a1} \bar{E}_1$ и $\bar{D}_{2n} = \epsilon_{a2} \bar{E}_2$, тогда:

$$\epsilon_{a1} \bar{E}_1 = \epsilon_{a2} \bar{E}_2, \quad (4)$$

т.е. напряженности в средах обратно пропорциональны диэлектрическим проницаемостям, что говорит о росте напряженности в области ПВС [4].

Формулы (1–3) показывают связь заряд – потенциал ($Q - \varphi$), где главным выступает заряд, который является генератором поля в пространстве заполнения. Исследователи [4–7] в своих работах показали взаимосвязь заряда и потенциала, где расчет и моделирование проведено на основе заряда, а потенциал является следствием. Поэтому емкость и заряд указывают непосредственно на процесс создания поля, а потенциал является следствием его распространения в средах. Откуда в качестве критерия оценки безопасного состояния технологии должен выступать заряд Q .

Наблюдение за процессом заполнения показывает, что одновременно происходит изменение размера слоев и площадей первой обкладки конденсаторов C_1 и C_2 :

$$S_{C1} = (a \cdot b) + 2(a + b) \cdot h_1, \quad (5)$$

$$S_{C2} = (a \cdot b) + 2(a + b) \cdot h_2 = (a \cdot b) + 2(a + b) \cdot (H - h_1), \quad (6)$$

где S_{C1} и S_{C2} – изменение площади внутренней поверхности танка для каждого из образующихся областей переменной емкости, м².

Емкость обеих областей вычисляется:

$$C_1 = \varepsilon_0 \varepsilon_1 \cdot (S_{C1}/h_1); \quad (7)$$

$$C_2 = \varepsilon_0 \varepsilon_2 \cdot (S_{C2}/h_2). \quad (8)$$

Осуществляем анализ изменения емкостных параметров сред, определяя отношения в правых частях формул (7, 8):

$$\frac{S_{C1}}{h_1} = \frac{(a \cdot b) + 2(a + b) \cdot h_1}{h_1} = 2(a + b) + \frac{a \cdot b}{h_1}; \quad (9)$$

$$\frac{S_{C2}}{h_2} = \frac{(a \cdot b) + 2(a + b) \cdot h_2}{h_2} = 2(a + b) + \frac{a \cdot b}{h_2}. \quad (10)$$

В результате, переменная емкость исследуемых областей изменяется по следующим законам относительно уровня заполнения:

$$C_1 = \varepsilon_0 \varepsilon_1 \cdot [(a \cdot b) + 2(a + b) \cdot h_1]/h_1; \quad (11)$$

$$C_2 = \varepsilon_0 \varepsilon_2 \cdot [(a \cdot b) + 2(a + b) \cdot (H - h_1)]/(H - h_1). \quad (12)$$

Изменение общей емкости в заполняемом пространстве:

$$C = \varepsilon_0 \cdot (\varepsilon_1 + \varepsilon_2) \cdot \left[4(a + b) + (a \cdot b) \cdot \left(\frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} \right) \right]; \quad (13)$$

где $h_1 = (F \cdot t)/(a \cdot b)$ – уровень слоя СПЖ, м; $h_2 = H - (F \cdot t)/(a \cdot b)$ – уровень слоя ПВС, м; F – расход насосной установки, м³/ч; t – время заполнения, с.

Зная величину емкости C и безопасный уровень потенциала поверхности $\varphi_{\text{MAX}} \leq 36$ кВ, определим величину заряда Q , накопившегося внутри объема по условию безопасности:

$$Q = C \cdot \varphi_{\text{MAX}} = C \cdot 36000. \quad (14)$$

Этот же заряд можно рассчитать по плотности потока входящего заряда вместе с СПЖ [2, 4, 6], а также через преобразование формулы (2.23) [2].

$$Q = \rho_0 \cdot e^{-t/\tau} = \rho_0 \cdot K_P \cdot [\tau \cdot (e^{-t/\tau} - 1) \cdot e^{-t/\tau}]; \quad (15)$$

где $\rho_0, \rho(t)$ – удельные объемные плотности заряда в начальный момент времени $\rho_0 = I_3/F$ и в момент времени t , $\rho(t) = \rho_{\text{вх}} \tau F/V$; $\tau = \varepsilon_0 \varepsilon_1 / \gamma$ – время релаксации заряда, с; t – время заполнения, с; $V = a \times b \times h$ – объем заполненного пространства СПЖ, м³; γ – удельная электропроводимость жидкости; $I_3 = (A_i \cdot v^{m_i} \cdot d^{n_i}) / (1,41 - 2 \lg(h_{\text{ЭК}}/d))$ –

ток заряжения, μA [4, 6, 7]; A_i, m_i, n_i – эмпирические коэффициенты заданной среды СПЖ; d – диаметр трубопровода, m ; V – скорость потока ЖН в трубе, m/c ; $h_{ЭК}$ – уровень шероховатости внутренней поверхности трубопровода, m ; K_p – коэффициент изменения объема, содержащего свободные заряды [3].

Сравним формулы (14) и (15):

$$C \cdot \varphi_{MAX} = \rho_0 \cdot e^{-t/\tau}, \tag{16}$$

или

$$Q = C \cdot \varphi_{MAX} = \rho_0 \cdot e^{-t/\tau} = \rho_0 \cdot K_p \cdot [\tau \cdot (e^{-t/\tau} - 1) \cdot e^{-t/\tau}]. \tag{17}$$

Результат проведенного анализа показывает, что заряд Q в заполняемом пространстве является основным фактором, который генерирует как поле, так и сопутствующие ему параметры потенциал φ и напряженность \bar{E} .

Для подтверждения изложенного материала в динамике было проведено компьютерное моделирование изменения заряда Q в программной среде «MATLAB». На модели воспроизведен процесс заполнения объема $V=7225 \text{ м}^3$ (рис. 3). Структурная схема построения модели показана на рис. 2.

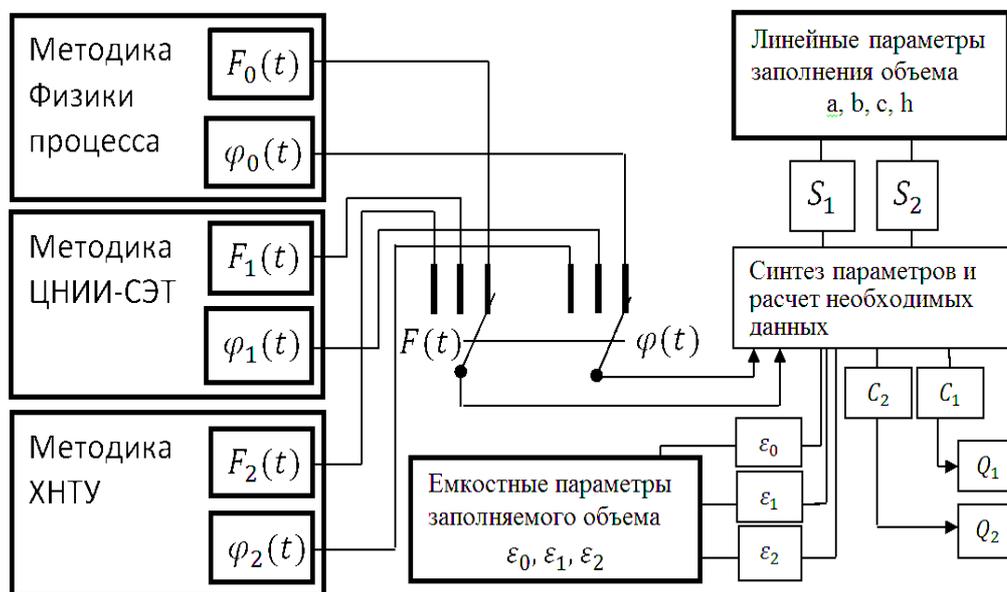


Рисунок 2 – Структурная схема модели процесса заполнения объема $V=7225 \text{ м}^3$

Представленная структурная схема модели (рис. 2) основывается на:

- 3-х методиках расчета, которые моделируют гидравлические параметры заполнения объемов СПЖ – $F(t)$ и потенциальные параметры картины квазистатического поля $\varphi(t)$;
- линейных параметрах заполняемого объема;
- емкостных параметрах этого же объема.

Перечень методик расчета:

- методика физики процесса – определяет картину роста потенциала во времени $\varphi_0(t)$ при различных фиксированных расходах $F_0(t)$ (рис. 4);
- методика ЦНИИ-СЭТ – определяет рост потенциала $\varphi_1(t)$ при использовании регулируемого расхода по программе $F_1(t)$ (рис. 5);
- методика ХНТУ – определяет рост потенциала $\varphi_2(t)$ при использовании нарастающего расхода $F_2(t)$ (рис. 6).

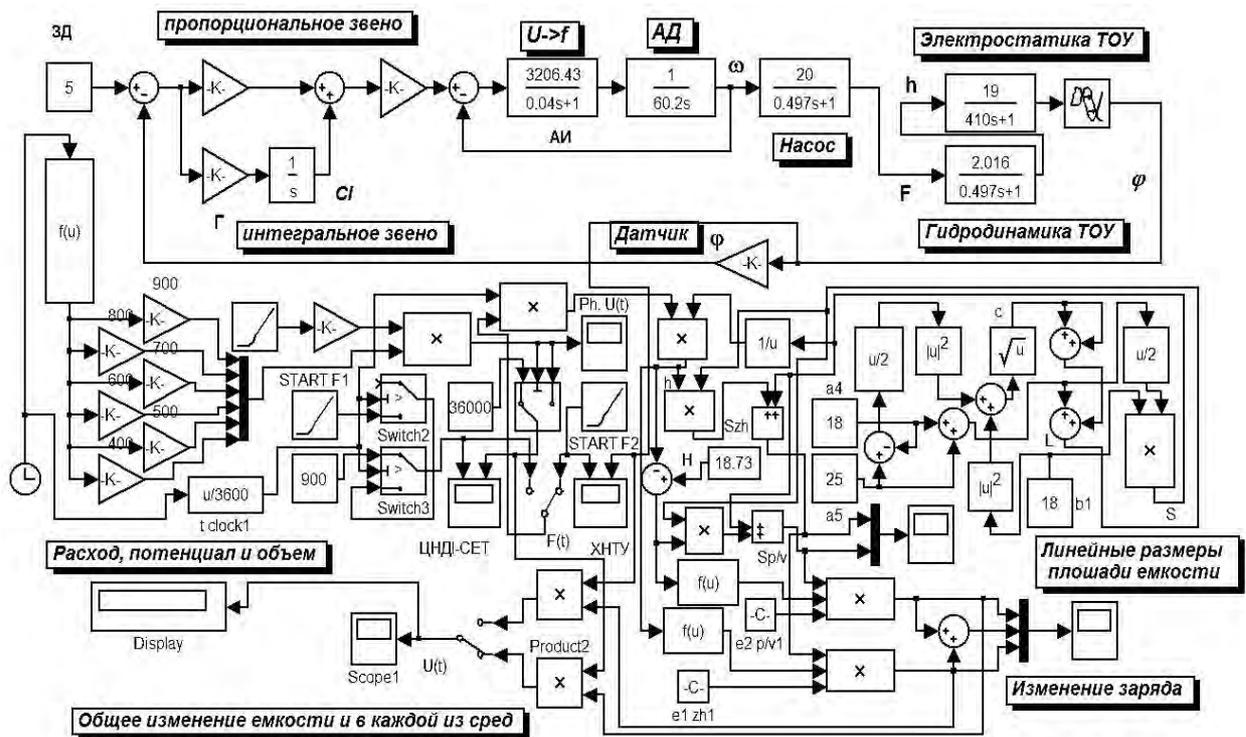


Рисунок 3 – Модель генерации процесса заполнения объема $V=7225 \text{ м}^3$ с использованием различных методик расчета

Проведенное моделирование показало следующие результаты:

- рост потенциала поверхности СПЖ φ при использовании постоянных технологических режимов заполнения в диапазоне $F = 400 \div 900 \text{ м}^3/\text{час}$ (рис. 4);
- рост потенциала поверхности СПЖ при использовании технологических режимов заполнения $F = 400 \div 900 \text{ м}^3/\text{час}$ по программе ЦНИИ-СЭТ (рис. 5);
- рост потенциала поверхности СПЖ при использовании технологических режимов заполнения $F = 0 \div 5000 \text{ м}^3/\text{час}$ по программе ХНТУ (рис. 6);
- изменение площади контакта сред с замкнутой поверхностью заполняемого объема S_{C1} и S_{C2} (рис. 7);
- изменение емкости $C_1(t)$ и $C_2(t)$ сред (рис. 8);
- изменение общего заряда в средах $Q(t)$ (рис. 9), в начале заполнения отсутствует среда, поглощающая избыточную входящую энергию квазистатического поля вместе с СПЖ;
- изменение уровня заполнения h_1 (рис. 10) показывает не только выполнение технологических требований подачи (рис. 5), но и начальную компенсацию скорости подачи для создания условий релаксации заряда входящего потока.

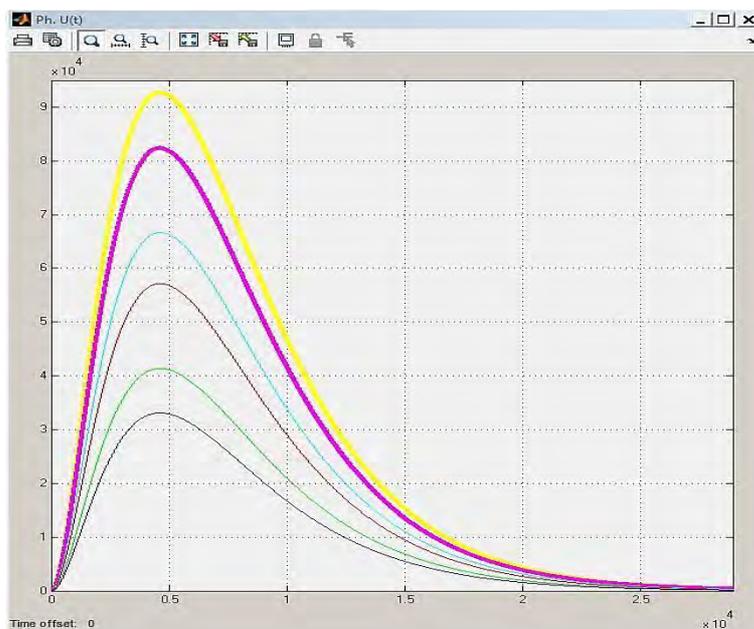


Рисунок 4 – Рост потенциала поверхности СПЖ при изменении расхода в диапазоне $F = 400 \div 900 \text{ м}^3/\text{ч}$

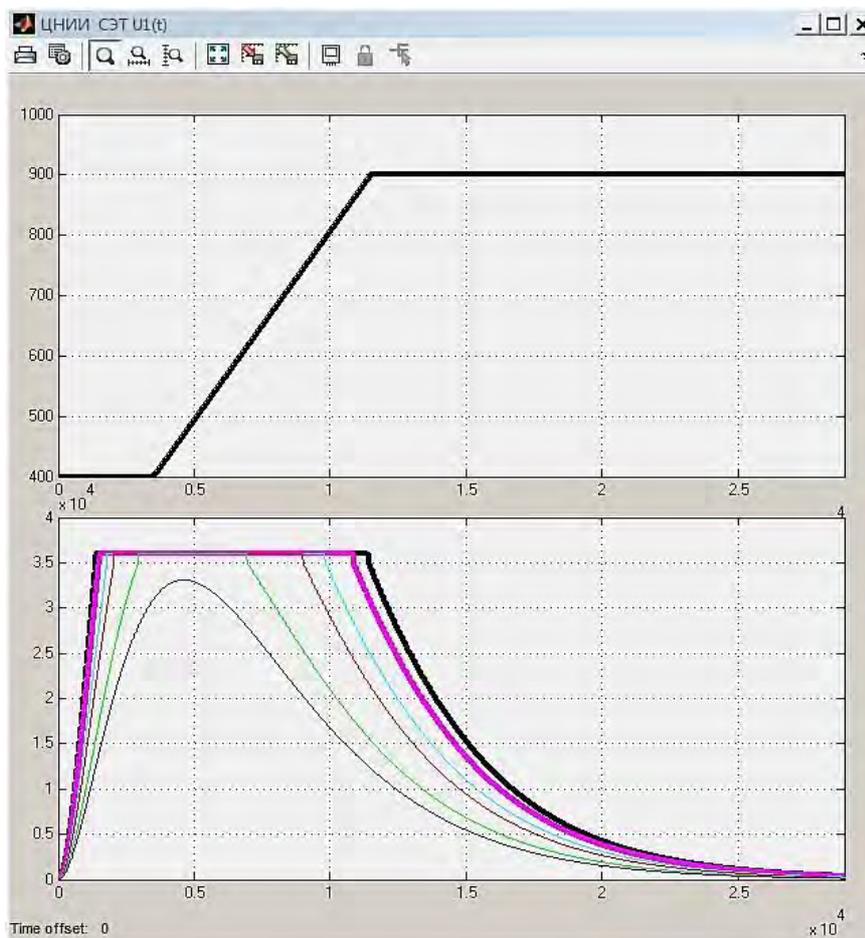


Рисунок 5 – Программа изменения расхода $F(t)$ (ЦНИИ-СЭТ) и изменение потенциала $\varphi(t)$ на поверхности СПЖ во время реализации этой программы

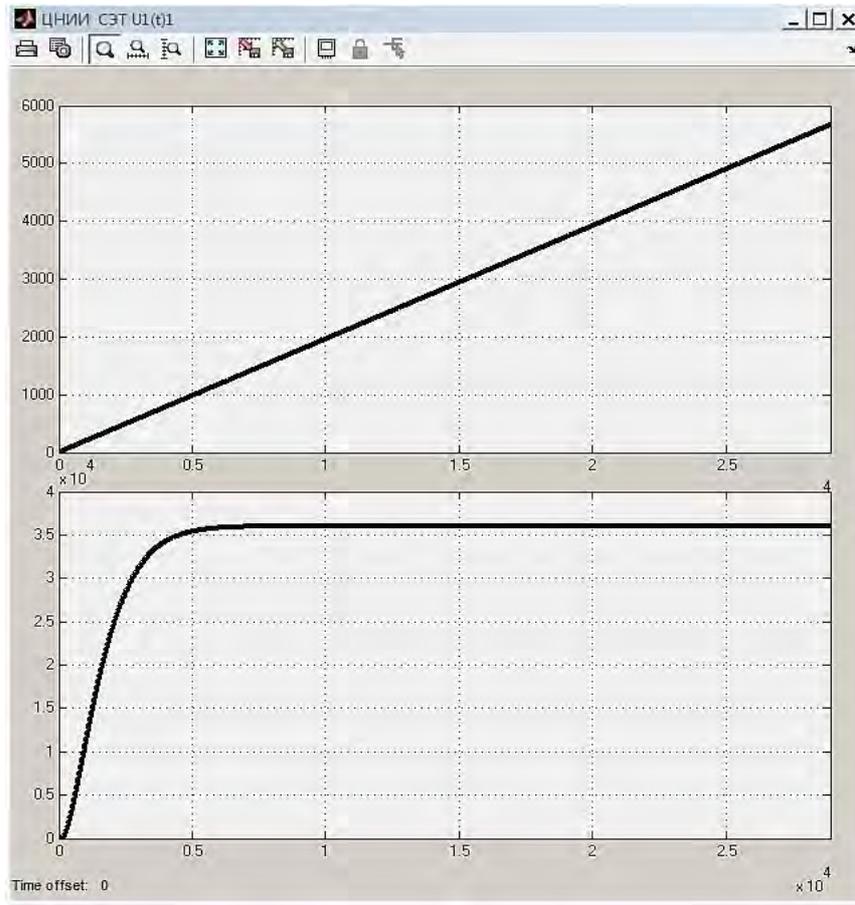


Рисунок 6 – Программа изменения расхода $F(t)$ (ХНТУ) и изменение потенциала $\varphi(t)$ поверхности СПЖ во время реализации этой программы

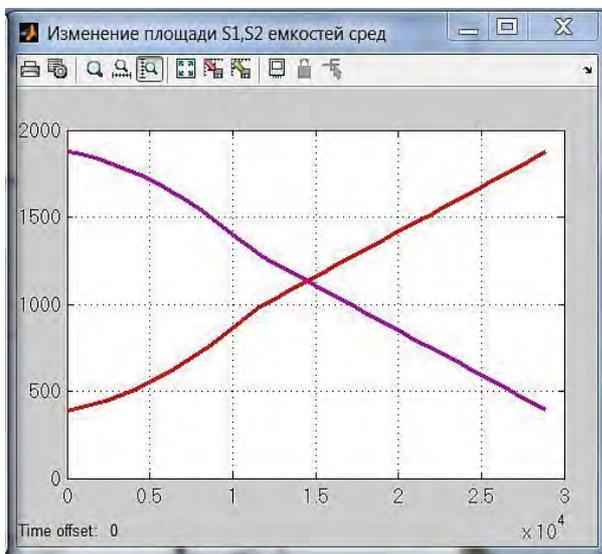


Рисунок 7 – Изменение площади $S(t)$ в средах

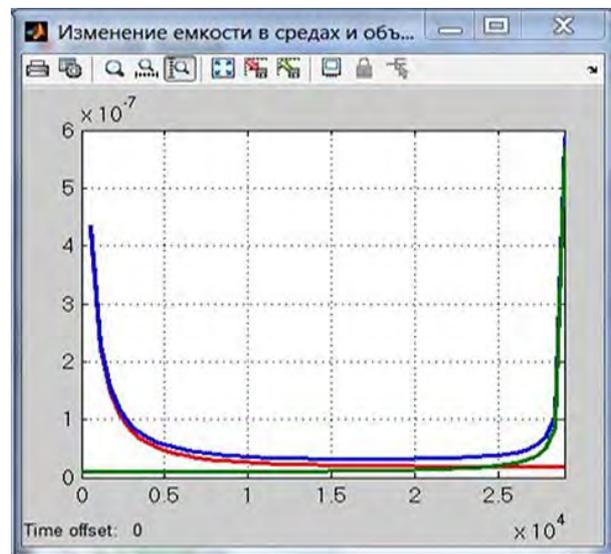


Рисунок 8 – Изменение емкости $C(t)$ в средах

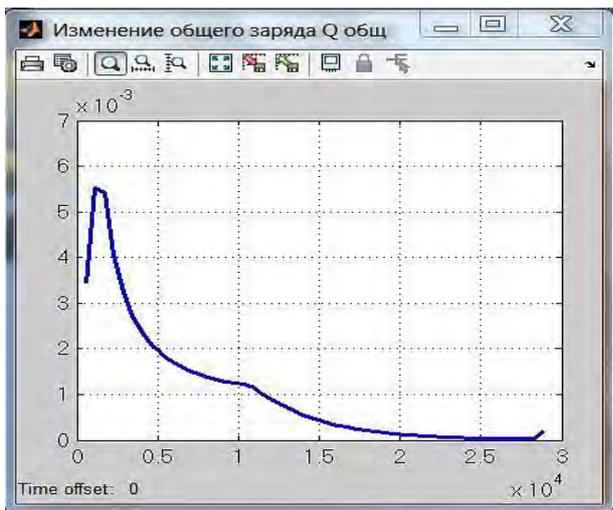


Рисунок 9 – Изменение заряда $Q(t)$ в объеме



Рисунок 10 – Изменение слоя заполнения $h_1(t)$

При необходимости получения более точного результата потенциальной картины поля (например, по требованию технологии) следует ввести в модель гидродинамическую составляющую, которая определяет распределение потенциальной картины в объеме и на поверхности. Данная модель точечного гидродинамического источника с топологией (x_0, y_0, z_0) (рис. 11) предполагает, что потенциал поля скорости $(\vec{v} = -\nabla\varphi)$ подчиняется уравнению Пуассона [8]. Тогда при решении задачи целесообразно применить метод интегральных преобразований, который представлен в виде системы (18), в которой выбрано расчетное направление изменения параметра вдоль оси z в Декартовой системе [4].

$$\left\{ \begin{array}{l} A = \begin{cases} C, & z \leq z_0; \\ C - \frac{\omega}{AB}(z - z_0), & z \geq z_0; \end{cases} \\ B = \omega \cdot \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{\cos \lambda_n \cdot x_0 \cdot \cos \lambda_m \cdot y_0 \cdot \cos \lambda_n \cdot x \cdot \cos \lambda_m \cdot y}{N_n^2 \cdot N_m^2} \\ C = \begin{cases} \frac{chK_{nm} \cdot z \cdot chK_{nm} \cdot (z_0 - h)}{K_{nm} \cdot shK_{nm} \cdot h}, & z \leq z_0; \\ \frac{chK_{nm} \cdot z_0 \cdot chK_{nm} \cdot (z - h)}{K_{nm} \cdot shK_{nm} \cdot h}, & z \geq z_0. \end{cases} \\ \varphi_z = A + (B \cdot C) \end{array} \right. \quad (18)$$

где $0 < x_0 < A$, $0 < y_0 < B$, $0 < z_0 < h$, $K_{nm} = \sqrt{\lambda_n^2 + \lambda_m^2}$, $\lambda_n = \frac{n\pi}{A}$, $\lambda_m = \frac{m\pi}{B}$,

$$N_n^2 = \begin{cases} A, & n = 0; \\ A/2, & n \neq 0; \end{cases} \quad N_m^2 = \begin{cases} B, & m = 0; \\ B/2, & m \neq 0; \end{cases}$$

A, B, h – длина, ширина, высота объема в M ;

m, n – шаги дискретизации по осям x, y ; x_0, y_0, z_0 – координаты начала расчета.

Поиск функции распределения заряда $\rho = f(x, y, z)$ в слое СПЖ осуществляется с помощью уравнения переноса $\partial\rho/\partial t + \rho/\tau + v\nabla\rho = 0$ с граничным условием $\rho(x_0, y_0, z_0) = \rho_0$ [2, 4]. Для этого в формулу закона изменения скорости жидкости вдоль естественной координаты (l) подставляем значения вектора скорости потока \bar{v} и находим искомое распределение заряда $\rho = f(x, y, z)$ в пространстве СПЖ.

В каждом конкретном случае необходимо производить перерасчет величины втекающего заряда ρ в связи с изменяющимся уровнем расхода $F \uparrow\downarrow$ по программе заполнения [3, 4].

Результат применения численного метода с использованием семиточечного расчетного шаблона [3, 4] позволяет получить потенциальную картину поверхности СПЖ и в заполняемом ею объеме, и таким образом распределение заряда на исследуемой поверхности. Процесс не только сложен для построения расчета, но и требует значительных вычислительных и временных ресурсов.

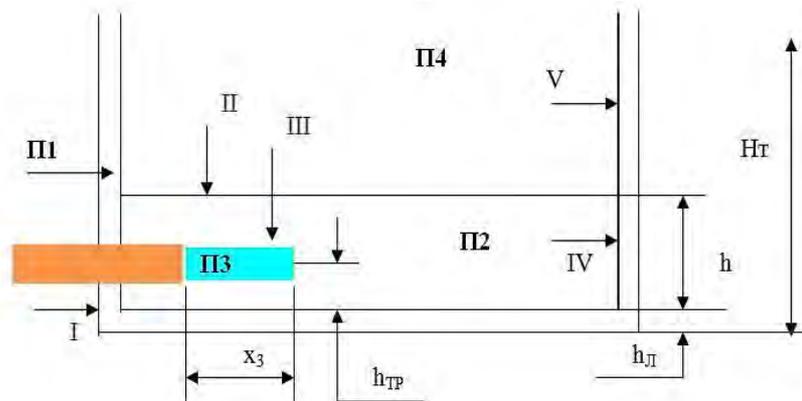


Рисунок 11 – Параметры заполняемого пространства

На рисунке (рис. 11) показаны условия подхода к расчету: I – металлический корпус объема; II – зеркало жидкости; III – струя – паровоздушное пространство; IV – жидкость – антикоррозионный слой; V – паровоздушное пространство – антикоррозионный слой. Среда и их параметры распределились как: П1 – антикоррозионный слой с параметрами $(\varepsilon_1, \gamma_1)$; П2 – слой, заполненный жидкостью с параметрами $(\varepsilon_2, \gamma_2)$; П3 – струя жидкости с параметрами $(\varepsilon_3, \gamma_3)$; П4 – паровоздушное пространство с параметрами $(\varepsilon_4, \gamma_4)$; x_3 – длина струи; $h_{тр}$ – высота трубопровода над дном объема; $h_{л}$ – толщина слоя лакокрасочного покрытия; H – уровень ЖН; h – требуемая высота объема заполнения.

Перечисленные данные являются основными параметрами, которые используются для получения картины распределения потенциалов на поверхности СПЖ.

Графический результат одного из таких расчетов показан на рис. 12. Для его получения необходимо было построить вычислительный модуль и графический драйвер вывода расчетных данных из базы накопленных данных на печать в пределах исследуемой плоскости X, Y раздела СПЖ и ПВС в масштабе, что заняло достаточно продолжительное время для его создания.

ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА (Пространство внутри жидкости)

ПАРАМЕТРЫ ОБЪЕМА	ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ	РАСЧЕТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ
Ширина подволока	Уровень заполнения (м) : 15.01	Ток зарядки струи (мкА) : 15.131747400
верхнего (м) : 25.00	Время заполнения (с) : 6461	Втекающий объемный заряд (Кл) : .000016568
нижнего (м) : 18.20	Высота трубы от дна (м) : .20	№ плоскости раздела пространства : 7
Длина по киллю (м) : 18.20	Диаметр трубопровода (м) : .30	Длина струи в пространстве (м) : 1.25
Высота от дна (м) : 16.00	Производительность (м ³ /ч) : 3288.00	Нефтепродукт : Керосин ТС-1 &O

ГРАФИЧЕСКОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТЕНЦИАЛОВ В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Метод расчета => Точечный гидродинамический источник

Заполняемый объем => ТАНК ТАНКЕРА

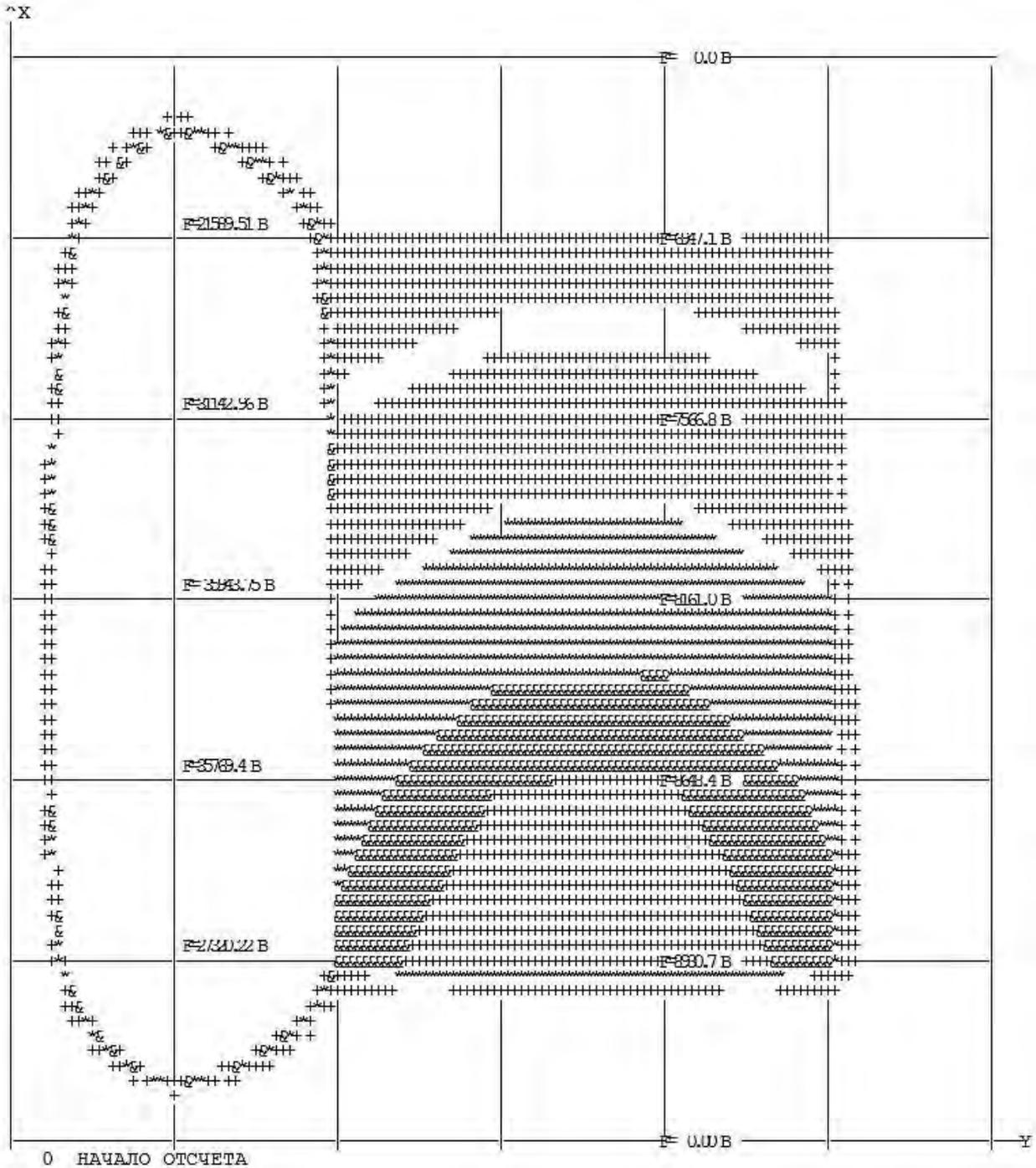


Рисунок 12 – Распределение потенциала (заряда) на поверхности раздела СПЖ и ПВС

На рис. 12 четко наблюдаются разные потенциалы в различных частях поверхности раздела СПЖ и ПВС. Следовательно, в каждой из областей с одинаковым потенциалом сосредоточен свой по величине и отличный от потенциала в других точках плоскости заряд Q , который стремится к усредненному распределению внутри слоя СПЖ в процессе собственной релаксации и гидродинамики потока СПЖ из точечного источника (отмеченного как 0,00 В).

Исследование левой части формулы (15) четко показывает взаимосвязь заряда с t – временем заполнения, τ – временем релаксации, $\rho_0(t)$ – удельной объемной плотностью втекающего заряда в объем вместе с СПЖ, то есть, за время t в объеме накопится заряд Q .

Единица объема вещества (СПЖ) обладает свойством поглощать и удерживать внутри себя определенное количество заряда без выделения его в виде разряда. Тогда, определив величину заряда Q во всем объеме и объем V заполненного СПЖ, можно вычислить заряд единицы объема $\rho = Q/V$, по величине которого определяют насколько безопасно состояние процесса заполнения в любой момент времени в исследуемой точке пространства СПЖ. Оценка состояния сравнивается с результатами лабораторных исследований свойств накопления энергии транспортируемых жидкостей, полученных в ячейках единичных размеров [9, 10], где состояние безопасности следует определять по максимальному потенциалу φ_{MAX} на поверхности СПЖ.

Например: для рис. 12 эта величина $\varphi_{\text{MAX}} = 35943,75$ В, где этот потенциал определяет состояние расчетного, максимального заряда Q_{MAX} .

Выводы. Емкость C , созданная свойствами сред в процессе заполнения СПЖ в объем, определяется:

- размерами заполняемого объема a, b, h ;
- свойствами среды СПЖ ε_1 , которую заполняют;
- уровнем расхода F ;
- временем t подачи, которое изменяется по логарифмическому закону;
- скоростью роста заряда $\uparrow Q$ двуслойного конденсатора и в два раза более скоростью роста потенциала поверхности $\uparrow \varphi_{\text{пов}}$;
- процессами начала и конца заполнения, а остальное технологическое время – свойствами распространения общего поля в средах (рис. 8).

Величина накопления заряда Q определяется:

- уровнем максимального потенциала поверхности раздела сред I и II;
- линейными размерами заполняемого объема a, b, h ;
- началом технологического процесса заполнения (рис. 9), свойствами и конфигурацией заполняемой среды ПВС и среды СПЖ;

Сам процесс расчета заряда Q в качестве критерия безопасности упрощается по уровню значений датчиков потенциала, а способность к выделению разряда определяется в лабораторных условиях для каждого из транспортируемых веществ (СПЖ) в ячейках единичных размеров.

Совокупность рассматриваемых физических процессов в заполняемом пространстве объема показывают, что заряд Q следует использовать в качестве критерия безопасности при определении ситуаций взрыва паров или зажигания заполняемой СПЖ. Современные приборы диагностирования потенциала на поверхности жидкости функционируют на основе измерения уровня заряда емкости, а величину потенциала получают через коэффициент пропорциональности K_C , выбранный для рабочего прибора.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Критерий электростатического воспламенения : материалы Международной конференции по статическому электричеству. – Лондон : Лондонский институт физики, 1977. – 150 с.

2. Проведение испытаний и исследований по оценке электростатической опасности при заполнении и механизированной мойке грузовых танков : отчет по НИР, ЦНИИ–СЭТ, составлен на разработку ЦКБ «Изумруд». – Херсон, 1989. – 48 с.

3. Кириллов О. Л. Автоматизация процесу керування системами перевантаження рідинних нафтопродуктів зі слабкою провідністю в замкнуті об'єми : дис. на здобуття наук. ст. канд. техн. наук: 05.13.07 / Олег Леонідович Кириллов. – Херсон, 2011. – 155 с.

4. Галка В. Л. Электростатическая безопасность нефтеналивных судов и кораблей / В. Л. Галка. – СПб. : Элмор, 1998. – 188 с.

5. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле : учебник для электротехнических, энергетических, приборостроительных, специальных вузов. – М. : Высшая школа, 2001. – 263 с.

6. Портной Г. Н. Распределение зарядов в движущейся слабопроводящей жидкости / Г. Н. Портной, И. А. Юдин // Письма в ЖТФ. – М. : Наука, 1984. – Т. 10. – Вып. 15. – С. 897–959.

7. Максимов Б. К. Электростатическая безопасность при заполнении резервуаров нефтепродуктами / Б. К. Максимов, А. А. Обух, А. В. Тихонов. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 154с.

8. Смайт В. Электростатика и электродинамика [микроформа] / пер. с англ. А. В. Гапонова и М. А. Миллера / В. Смайт, Р. Вильям. – М. : РГБ, 2007. – 604 с.

9. Тодорцев Ю. К. Исследование подходов к оценке воспламеняемости светлых жидких нефтепродуктов с низкой проводимостью в замкнутых объемах / Ю. К. Тодорцев, О. Л. Кириллов // Вестник ХНТУ. – 2012. – № 4(45). – С. 90–94.

10. Кириллов О. Л. Подходы к методике оценки опасности появления искр в процессе перегрузки слабопроводящих жидких нефтепродуктов / О. Л. Кириллов // Вестник ХНТУ. – 2012. – № 4 (45). – С. 58–61.

REFERENCES

1. *Kriteriy electrostaticheskogo vosplamneniya. Mezhdunarodnaya konferentsiya po staticheskomu elektrichestvu. (1977). London.: Istitute of phiziks, 150p.*

2. *Provedeniye ispitaniy & issledovaniy po otzhenke elektroctaticheskoy opasnosti pri zapolnenii & mechanizirovannoy moyke gruzovih tankov. Otchet po NIR (1989), TZNII-SET. Soctavlen na razrabotku TzKB «IZUMRUD». Kherson, 48p.*

3. *Kirillov, O.L. (2011). Avtomatizatzhiya protzhesu keruvannya sistemamy perevantazhennya ridunnych naftoproductiv zi clabkoyu providnistyu b zamknuty obyemy. Candidate's thesis. Kherson: KNTU.*

4. *Galka V.L. (1998). Electrostatitzheskaya behzopasnost neftenalivnih sudov & korabley. SPb.: Elmor. 188p.*

5. *Bessonov L.A. (2001). Teoreticheskiye ocnovi elektrotehniki. Elektromagnitnoye pole. Moskva.: Visshaya Shkola. 263p.*

6. *Portnoy G.N. & Yudin E.A. (1984). Raspredeleniye zaryadov v dvizhusheysya zhedkosti. Pisma v ZhTF, tom-10. Moskva.: Nauka. 897-959p.*

7. *Maksimov B.K., Obuh A.A. & Tihonov A.B. (1989). Electrostatitzheskaya behzopasnost pry zapolnenii rezervuarov nefteproductamy. Moskva.: Energoatomizdat. 154p.*

8. *Smayt V. & Vilyam R. (2007). Electrostatika I elektrodinamika. (Gaponova A.V. & Miller M.A, Trans). Moskva.: RGB. 604p.*

9. *Kirillov, O.L. & Todortzhev Yu.K. (2012). Issledovaniye podhodov k otzhenke vosplamnyaemosti svetlyh zhidkih nefteproductov s nizkoy provodimostyu v zamknutyh obyomah. Kherson. Vestnik KNTU №44. 90-94p.*

10. *Kirillov, O.L. (2012). Podhody k metodyke ozhenky opasnosti poyavleniya iskr v protsesse peregruzky claboprovodyashih zhidkih nefteproductov. Kherson. Vestnik KNTU №45. 58-61p.*

Кириллов О. Л. ДОСЛІДЖЕННЯ І ВИБІР КРИТЕРІЮ БЕЗПЕКИ ПРИ ТРАНСПОРТУВАННІ СЛАБОПРОВІДНИХ РІДИН В ЗАКРИТІ ОБ'ЄМИ

У статті проведений аналіз, дослідження і вибір заряду Q , у якості критерію безпеки. Порівняно з іншими критеріями, наприклад, потенціал φ і напруженість H , заряд є найбільш простим параметром для опису стану електричної безпеки при заповненні нафтопродуктів в замкнуті об'єми завдяки аналізу рівня заряду в одиниці об'єму рідини, яка транспортується. Визначені методи і дан аналіз сучасних засобів діагностування при виявленні стану небезпечного заряду у нафтопродукті, подано його простий аналіз.

Ключові слова: вибір заряду у якості критерію безпеки, простий параметр, який описує стан безпеки, заповнення нафтопродуктів в замкнуті об'єми, аналіз засобів діагностування, небезпечний заряд.

Kirillov O. L. RESEARCH AND CHOICE OF CRITERION OF SAFETY AT TRANSPORTING TO CONDUCT OF WEAK OF LIQUIDS IN CLOSED VOLUMES

Introduction. *The process of portage of liquids (factions of oil) which conduct poorly in the reserved volumes is necessarily related to electrostatic charge storage in them, and research of process of accumulation drove to 60–70 to development of base criterion of the state of safety of this process. At the arbitrary change of the mode of serve of factions of oil in the reserved volume the level of the accumulated charge into a volume arrives at a critical value. On an interphase steam-air space is a liquid there are digits, defiant spunking or explosion and accordingly destruction of capacity. As a criterion potential of surface of liquid was chosen.*

The analysis of the chosen criterion does not allow to understand the mechanism of forming of physical process of creation of the field. A criterion shows the field and his description without the analysis of the transported material and understanding of forming of the field.

Therefore conducting the analysis of process of filling in technology, the size of charge of unit of volume is offered as a criterion of safety of technology of portage.

Purpose of work. *Choice of new criterion of safety and being of intercommunication of capacity properties of the filled reserved volume with the technological parameters of filling in the process of accumulation of energy of the quazystatic field into the filled liquid.*

Comparison of analytical research of change of capacity of the filled space with the safe level of potential of surface $\varphi_{\text{MAX}} \leq 36 \text{ kV}$ and allows the size of charge, accumulated into a volume, to assert that a charge Q in the filled space is a basic factor, which generates both the field and concomitant to him parameters, potential φ and tension \bar{E} .

Conclusions. *Closeness of charge in unit of volume in the moment of time t , $\rho(t) = \rho_{\text{BK}}\tau F/V$ characterizes the state of safety of process and is a basic criterion, qualificatory the danger of process of filling.*

Keywords: *choice of charge Q as a criterion of safety, potential φ and field tension \bar{E} , filling factions of oil in reserved volume, analysis of facilities of diagnosticating, dangerous charge.*

© Кириллов О. Л.

Статтю прийнято
до редакції 10.05.17