

ЭЛЕКТРОНИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

УДК 681.518.52:544.023 002.56

О.Л. Кириллов

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ СРЕДЫ МЕЖДУ ТОЧКОЙ НА ПОВЕРХНОСТИ НЕФТЕПРОДУКТА И ОКРУЖАЮЩИМИ ЕЕ СТЕНКАМИ ЗАМКНУТОГО ОБЪЕМА В ПРОЦЕССЕ ЗАПОЛНЕНИЯ ЕГО ЖИДКИМ НЕФТЕПРОДУКТОМ

У статті за допомогою аналогічного та електротехнічного підходів досліджується оцінка небезпеки появи зірок у процесі заповнення об'ємів нафтопродуктами. В основу оцінки зіркової безпеки покладено властивість зміни поверхневого і об'ємного опорів точки поверхні нафтопродукту відносно поверхні стінок заповнюваного об'єму, що її оточує.

Введение. В процессе заполнения светлыми жидкими нефтепродуктами замкнутых объемов накапливается заряд статического электричества в объеме транспортируемой жидкости [1, 2]. Этот накопленный заряд, в случае превышения режима расхода заполнения, высвобождается в виде разряда, вызывая пожар или взрыв. Вопросы оценки момента высвобождения энергии накопленного в жидкости заряда определены появлением областей на поверхности нефтепродукта, которые имеют относительно стенок замкнутого объема минимальное сопротивление [3, 4].

Исследования по оценке максимального потенциала поверхности нефтепродукта, проводимые ранее, не учитывали особенностей изменения и распределения сопротивления среды, сосредоточенного между поверхностями жидкости и окружающего ее корпуса заполняемого объема [3]. Результат исследований не позволил определить путь распространения разряда и дать оценку способам управления его развитием.

Оценка сопротивления между поверхностями нефтепродукта и стенкой корпуса заполняемого объема, позволит определить путь развития разряда и провести поиск способов его устранения.

Постановка задачи исследования.

Изучив современные подходы к оценке опасности появления искр в процессе заполнения замкнутых емкостей нефтепродуктами со слабой проводимостью [2, 4], приходим к следующему:

- не исследовано электрическое сопротивление пространства заполнения;
- не исследована динамика его изменения в исследуемом объеме.

Отсутствие перечисленных условий не позволяет осуществить прогноз развития разряда под действием накапливаемого в нефтепродукте электростатического поля.

Цель работы. Определение надежного метода, описывающего состояние безопасности технологии перегрузки нефтепродуктов с высокой проводимостью в замкнутые объемы.

Решение задачи.

Для решения поставленной задачи рассмотрим комплекс сопротивлений, описывающих поведение среды в электростатическом поле при накопленном заряде внутри нефтепродукта.

Сопротивление окружающей среды между точкой A и металлическим замкнутым объемом (Рис.1.) может быть представлено сопротивлениями (Рис.2) вдоль осей исследуемого объема (Рис.3).

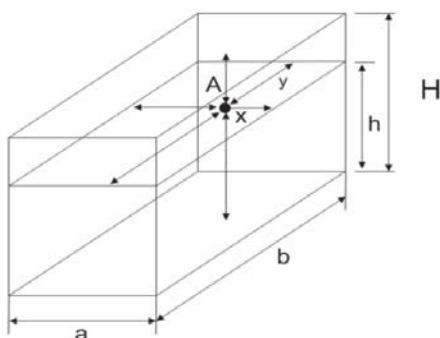


Рис.1.

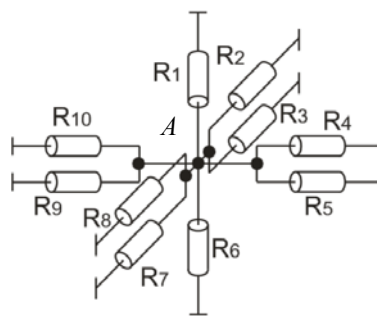


Рис.2.

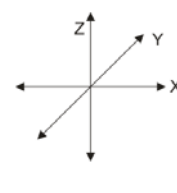


Рис.3.

Проводим расчет сопротивления исследуемой среды, определяя его составные части вдоль осей исследуемого пространства.

Вдоль оси Z пространство содержит сопротивления:

– паровоздушного пространства $R_1 = \rho_{ПВ} \Psi(H - h)$;

– пространства жидкого диэлектрика (нефтепродукта) $R_6 = \rho_{Ж} \times h$.

Вдоль оси X пространство содержит сопротивления:

– паровоздушного пространства $R_4 = \rho_{ПВ} \Psi x$, $R_{10} = \rho_{ПВ} \Psi(a - x)$ и пространства жидкого нефтепродукта $R_5 = \rho_{Ж} \Psi x$, $R_9 = \rho_{Ж} \Psi(a - x)$.

Вдоль оси Y пространство содержит сопротивления:

– паровоздушного пространства $R_2 = \rho_{ПВ} \Psi y$, $R_8 = \rho_{ПВ} \Psi(b - y)$ и пространства жидкого нефтепродукта $R_3 = \rho_{Ж} \Psi y$, $R_7 = \rho_{Ж} \times (b - y)$,

где $\rho_{ПВ}, \rho_{Ж}$ – удельные сопротивления сред паровоздушной и жидкости соответственно, **Ом/м**;

H, h, a, x, b, y – топология положения в пространстве исследуемой точки, **м**.

Из рис.1. видно, что все рассмотренные сопротивления рис.2 включены параллельно.

Определим сопротивления вдоль осей X, Y, Z:

ось Z

$$R_Z = \frac{R_1 \Psi R_6}{R_1 + R_6} = \frac{\rho_{ПВ} \Psi(H - h) \Psi \rho_{Ж} \Psi h}{\rho_{ПВ} \Psi(H - h) + \rho_{Ж} \Psi h} = \dots = \frac{\rho_{Ж} \Psi(H - h)}{H/h - 1 + \rho_{Ж}/\rho_{ПВ}}; \quad (1)$$

ось Y

$$R_Y = \frac{\frac{R_2 \Psi R_3}{R_2 + R_3} \Psi \frac{R_8 \Psi R_7}{R_8 + R_7}}{\frac{R_2 \Psi R_3}{R_2 + R_3} + \frac{R_8 \Psi R_7}{R_8 + R_7}} = \dots = \frac{\rho_{ПВ} \Psi \rho_{Ж}}{(\rho_{ПВ} + \rho_{Ж}) \Psi \left(\frac{1}{b - y} + \frac{1}{y} \right)}; \quad (2)$$

ось X

$$R_X = \frac{\frac{R_4 \Psi R_5}{R_4 + R_5} \Psi \frac{R_{10} \Psi R_9}{R_{10} + R_9}}{\frac{R_4 \Psi R_5}{R_4 + R_5} + \frac{R_{10} \Psi R_9}{R_{10} + R_9}} = \dots = \frac{\rho_{ПВ} \Psi \rho_{Ж}}{(\rho_{ПВ} + \rho_{Ж}) \Psi \left(\frac{1}{a - x} + \frac{1}{x} \right)}. \quad (3)$$

Выделяем подобные для определения полного сопротивления окружающей среды между точкой А и металлическим замкнутым объемом. Представим сопротивления по осям в следующем виде:

$$R_Z = \frac{\rho_{Ж} \times (H - h)}{H/h - 1 + \rho_{Ж}/\rho_{ПВ}} = \rho_{Ж} \times K_Z, \quad (4)$$

где $K_Z = \frac{H - h}{\left(\frac{H}{h} - 1 \right) + \rho_{Ж}/\rho_{ПВ}} = \dots = \frac{1}{\frac{1}{h} + \frac{\rho_{Ж}}{\rho_{ПВ} \Psi(H - h)}}$;

$$R_Y = \frac{\rho_{ПВ} \times \rho_{Ж}}{(\rho_{ПВ} + \rho_{Ж}) \times \left(\frac{1}{b - y} + \frac{1}{y} \right)} = \dots = \frac{\rho_{ПВ} \times \rho_{Ж}}{\rho_{ПВ} + \rho_{Ж}} \times K_Y, \quad (5)$$

где $K_Y = \frac{1}{\frac{1}{b - y} + \frac{1}{y}} = \dots = \frac{b - y}{b/y}$;

$$R_x = \frac{\rho_{ПВ} \times \rho_{Ж}}{(\rho_{ПВ} + \rho_{Ж}) \times \left(\frac{1}{a-x} + \frac{1}{x} \right)} = \dots = \frac{\rho_{ПВ} \times \rho_{Ж}}{\rho_{ПВ} + \rho_{Ж}} \times K_x, \quad (6)$$

где $K_x = \frac{1}{\frac{1}{a-x} + \frac{1}{x}} = \dots = \frac{a-x}{a/x}$.

Результат преобразования подставляем в формулу определения сопротивления среды для 3-х параллельно включенных сопротивлений:

$$R = \frac{R_z \text{ Ч } R_y \text{ Ч } R_x}{(R_z \text{ Ч } R_y) + (R_y \text{ Ч } R_x) + (R_z \text{ Ч } R_x)} = \dots = \frac{1}{\frac{\rho_{ПВ} + \rho_{Ж}}{\rho_{ПВ} \text{ Ч } \rho_{Ж}} \text{ Ч } \frac{K_y + K_x}{K_y \text{ Ч } K_x} + \frac{1}{K_z \text{ Ч } \rho_{Ж}}}. \quad (7)$$

Производим приведение подобных частей формулы:

$$\frac{K_y + K_x}{K_y \times K_x} = \frac{\frac{y \times (b-y)}{b} + \frac{x \times (a-x)}{a}}{\frac{y \times (b-y)}{b} \times \frac{x \times (a-x)}{a}} = \dots = \frac{a}{x \times (a-x)} + \frac{b}{y \times (b-y)}. \quad (8)$$

Подставляем полученные данные в общую формулу (7) сопротивления среды:

$$R = \frac{1}{\frac{\rho_{ПВ} + \rho_{Ж}}{\rho_{ПВ} \text{ Ч } \rho_{Ж}} \text{ Ч } \frac{K_y + K_x}{K_y \text{ Ч } K_x} + \frac{1}{K_z \text{ Ч } \rho_{Ж}}} = \dots = \dots = \frac{1}{\frac{\rho_{ПВ} + \rho_{Ж}}{\rho_{ПВ} \text{ Ч } \rho_{Ж}} \text{ Ч } \left(\frac{a}{x \text{ Ч } (a-x)} + \frac{b}{y \text{ Ч } (b-y)} \right) + \frac{1}{\rho_{Ж} \text{ Ч } h} + \frac{1}{(H-h) \times \rho_{ПВ}}}. \quad (9)$$

Результат аналитического исследования (1...9) показывает структуру сопротивления среды через проводимость в рассматриваемом пространстве:

$$R = \frac{1}{G_{П/ВХУ} + G_{ЖZ} + G_{П/ВZ}}, \quad (10)$$

где компоненты проводимости: $G_{П/ВХУ} = \frac{a}{x \text{ Ч } (a-x)} + \frac{b}{y \text{ Ч } (b-y)}$ – на поверхности нефтепродукта;

$G_{ЖZ} = \frac{1}{\rho_{Ж} \text{ Ч } h}$ – объема нефтепродукта; $G_{П/ВZ} = \frac{1}{(H-h) \times \rho_{ПВ}}$ – объема паровоздушного пространства над нефтепродуктом.

ВЫВОДЫ

- структура проводимости имеет три компонента, два из которых описывают свойства нефтепродукта $G_{ЖZ}$ и паровоздушной среды $G_{П/ВZ}$ над ним, динамически изменяющиеся пропорционально размерам слоев;
- компонент проводимости $G_{П/ВХУ}$ вдоль осей X-Y указывает на параллельное расположение сред с резким отличием характеристик проводимости;
- появление избыточного заряда, выносимого на поверхность нефтепродукта гидродинамическим течением, на границе раздела сред способствует формированию зарядов в паровоздушном пространстве свободной области;
- заряды генерируют в паровоздушной среде стримеры вдоль потока жидкости;
- при достижении критического уровня заряда по стримерам происходит разряд.

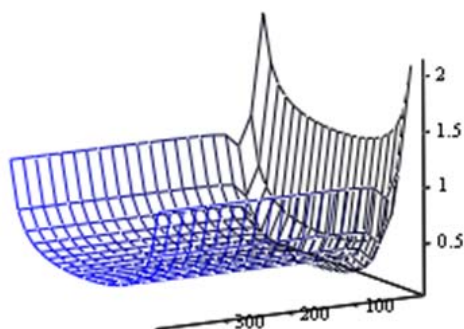


Рис.4.

Результат графического анализа изменения параметров рассмотренных проводимостей на модели исследуемого пространства (рис.4) показывает, что критический заряд, сосредоточенный в жидкости, способен разряжаться в местах, образующих углы между стенками замкнутого объема. Для компенсации этого нежелательного эффекта необходимо строить замкнутые объемы без углов в конструкции. Из центра исследуемой поверхности нефтепродукта в объеме разряд развивается плохо.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Кириллов О.Л. Диагностирование критерия безопасности при заполнении замкнутых объемов СПЖ косвенным методом / О.Л. Кириллов, Г.С. Якимчук // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. Херсон. – ХНТУ. – 2009. – №1(23). – С.119-122.
2. Кириллов О.Л. Автоматизация процесса управления системами перегрузки жидких нефтепродуктов со слабой проводимостью в замкнутые объемы: дис. на получение науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.13.07 / Кириллов Олег Леонидович. – Херсон, 2011. – 134 с.
3. Максимов Б.К., Обух А.А., Тихонов А.В. Электростатическая безопасность при заполнении резервуаров нефтепродуктами. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 154с.
4. Галка В.Л. Электростатическая безопасность нефтеналивных судов и кораблей. – СПб.: Элмор, 1998. – 188с.

КИРИЛЛОВ Олег Леонидович – к.т.н, доцент кафедры электротехники и энергетики Херсонского национального технического университета.

Научные интересы:

- расчет электрических и магнитных полей;
- моделирование;
- системы автоматического управления технологическими объектами.