

УДК 681.518.52:544.023 002.56

Ю.К. Тодорцев, О.Л Кириллов

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ВОСПЛАМЕНЯЕМОСТИ СВЕТЛЫХ ЖИДКИХ НЕФТЕПРОДУКТОВ С НИЗКОЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ В ЗАМКНУТЫХ ОБЪЕМАХ

У статті розглянуто особливості моделі генерації розрядів над поверхнею заповнюваного у замкнутий об'єм нафтопродукту при внесенні провокуючого електроду у досліджуване середовище. Відмічено недоліки моделі. Показано необхідність додаткових досліджень щодо уточнення і пояснення фізичної природи та механізму розрядних явищ у заповнюваних замкнутих об'ємах.

Введение. Электрические разряды в паровоздушном пространстве наэлектризованных нефтепродуктов при определенных условиях могут стать причиной возникновения пожара. Это обстоятельство послужило основным поводом для детального исследования процессов электризации жидкостей и условий их воспламенения разрядами статического электричества (СЭ) [1].

Классической операцией с нефтепродуктами является заполнение резервуаров. На пути в резервуар при движении по трубам и через фильтры продукт заряжается СЭ, в результате чего в объеме резервуара возникает электрическое поле (ЭП). Когда напряженность ЭП становится достаточной для развития ионизационных процессов, в пространстве над поверхностью жидкости, в точках с наибольшей концентрацией зарядов, начинают появляться электрические разряды [1].

Разряды в поле наэлектризованной жидкости по своей феноменологии и энергетическим характеристикам существенно отличаются от обычных искровых разрядов между металлическими электродами [1].

Постановка задачи исследования. Задачей исследования является изучение метода оценки механизма возникновения разрядов на поверхности нефтепродукта в заполняемом объеме, изложенного в литературе [1], и уточнение его основных принципов.

Целью работы является разработка новых методов анализа состояния безопасности в процессе заполнения замкнутых емкостей нефтепродуктами со слабой проводимостью [2, 3].

Решение задачи. Исследования механизма возникновения разрядов на поверхности нефтепродукта, в процессе заполнения им объемов, велись [1] с моделью внесенного металлического электрода в электрическое поле.

Анализ результатов проведенных исследований [1] выявил следующие особенности возникновения разрядов в электризованных нефтепродуктах между внесенным металлическим электродом и поверхностью исследуемой жидкости:

- замыкание промежутка между электродом и жидкостью происходит без видимых разрядных процессов;
- потенциал столба жидкости и электрода в результате закорачивания выравнивается;
- в случае попадания на электрод жидкости возможна трансформация ее формы в конус, направленный навстречу основной поверхности заполняемого нефтепродукта;
- для развития ионизационных процессов необходимы воздушные промежутки $h > 10$ мм при отсутствии шунтирования их жидкостью;
- при отрицательном заряде нефтепродукта в паровоздушном пространстве могут наблюдаться 2 вида разрядов:
 - предразрядные стримеры, где одиночный канал (перекрывающий $1/4$ длины промежутка) делится на более тонкие каналы;
 - полный искровой пробой в виде одиночного канала со стороны электрода, перекрывающего $1/3$ промежутка с током до $I = 1 \mu\text{кА}$;
- при положительном заряде нефтепродукта разряд наблюдается в виде устойчивой короны на протяжении нескольких секунд:
 - при больших напряжениях возможна деформация поверхности жидкости, сопровождающаяся возникновением стримеров;
 - исследования показывают наличие неоднородности поля в разрядном промежутке;
- для каждого диаметра d разрядного электрода и потенциала поверхности жидкости под этим электродом экспериментально были определены разрядные промежутки, при которых перенесенный на электрод заряд достигал наибольших значений;

- установлена взаимосвязь между выделяющейся в разрядном промежутке энергией и потенциалом поверхности жидкости, которая не полностью определяет воспламеняющую способность заряда, поскольку необходимо определить характер выделения энергии во времени и концентрацию в единице объема канала разряда;
- количество переносимого на электрод заряда хорошо коррелируется с воспламеняющей способностью и может быть измерено и зарегистрировано;
- заряд очень зависит от электропроводности $Q \sim f(\gamma)$ при ее экстремуме $\gamma = 6 \times 10^{-12} \text{ (Ом/м)}^{-1}$;
- уменьшение диаметра провоцирующего электрода (в сухом состоянии) приводит к коронирующему разряду вокруг него;
- влажность воздуха в над-топливном пространстве влияет на пробой:
 - заряд, перенесенный на электрод с положительно заряженного нефтепродукта, уменьшается из-за активного взаимодействия электронов с молекулами воды в воздухе;
 - заряд, перенесенный на электрод с отрицательно заряженного нефтепродукта, не зависит от влажности;
- увеличение давления в разрядном промежутке способствует уменьшению длины свободного пробега заряженных частиц, их количества и, соответственно, уменьшению заряда на разрядном электроде.

Исследования [1] не точно представляют описание природы физического процесса разрядных явлений и их влияние на безопасность процесса перегрузки уже потому, что в модель искусственно внесен провоцирующий электрод. Эти исследования и полученные выводы были основаны на модели распределения поля, сведенного к сосредоточению максимального потенциала на поверхности нефтепродукта в центре заполняемого объема, рис.1. [1].

Модельные исследования Центрального Научно-исследовательского Института Судовой Электротехники (ЦНИИ-СЭТ) [2] показали, что данное утверждение неверно, поскольку не учитывает гидродинамику нефтепродукта и иной механизм распределения зарядов в его объеме и на поверхности, рис.2. [2, 3]. При уровне заполнения h возникновение разрядных явлений должно рассматриваться вместе с оценкой гидродинамических свойств движения нефтепродукта, доставляющего заряды Q_L , Q_V в различные области заполняемого объема, например на поверхность, в виде Q_{Π} .

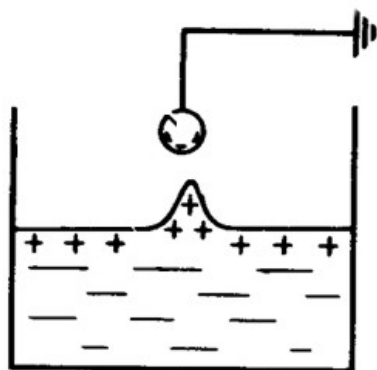


Рис.1.

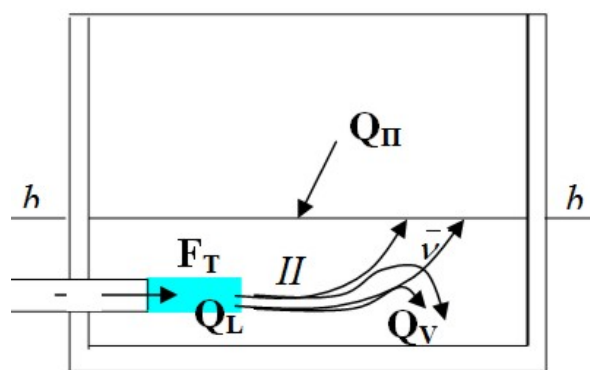


Рис.2.

Процесс гидродинамического переноса зарядов жидкостью в замкнутом объеме предполагает размещение областей их сосредоточения в придонном пространстве (рис.3), под ее поверхностным слоем и на ее поверхности (рис.4). Таким образом, области скопления зарядов могут граничить между собой под уровнем поверхности нефтепродукта, на его поверхности и в пространстве около стенок. Поскольку стенка обладает нулевым потенциалом, то рядом со стенкой заряженные области стремятся к выбросу избыточной энергии поля, с последующим развитием разряда. Если такие области с различным по величине зарядом встречаются у поверхности жидкости, то возможно развитие разряда между ними.

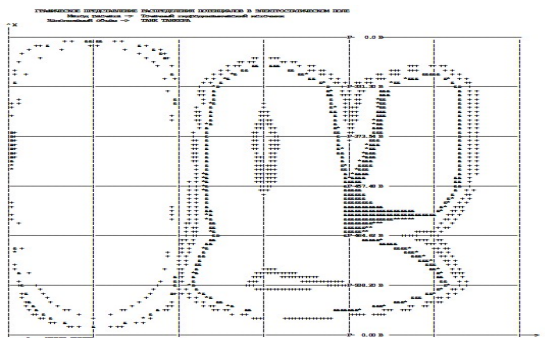


Рис.3.

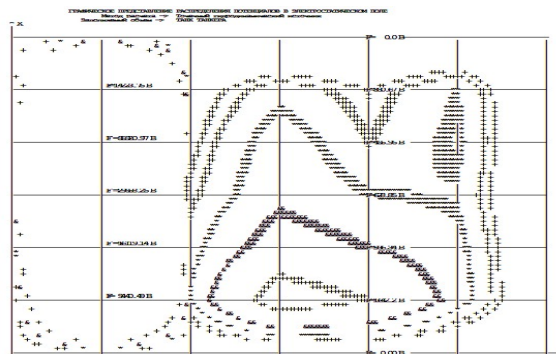


Рис.4.

Более того, в качестве фактора, провоцирующего разряд, может выступать присутствие влаги в паровоздушном пространстве над нефтепродуктом или сосредоточение ее на поверхности под действием того же поля. Форма заполняемого объема также создает предпосылки для неравномерного сосредоточения заряда в разных местах поверхности нефтепродукта. Области скопления организуют неравномерное распределение заряда на поверхности и, соответственно, искаженное поле.

Таким образом, необходимы дальнейшие исследования разрядных явлений в зависимости от динамики движения нефтепродукта на поверхности, т.е. оценка областей доставки избыточных зарядов на поверхность жидкости.

Выбор области внесения провоцирующего электрода над поверхностью жидкости должен быть связан с определением области сосредоточения заряда, гидродинамическими свойствами жидкости, технологическими параметрами заполнения, формой заполняемой емкости.

Однако, исследование разрядного явления с помощью провоцирующего электрода не может дать правдоподобное объяснение сущности этого процесса, поскольку не учитывает свойство поглощаемости энергии электростатического поля нефтепродуктом. Для этого необходима модель, отражающая описание свойства вещества удерживать в единице своего объема заряд без развития разрядного явления. Знание уровня поглощения веществом заряда может объяснить условие его выделения, т.е. появления разряда.

Основные результаты и выводы Методы решения задачи распределения потенциала электростатического поля, без учета гидростатического распределения потока заряженного нефтепродукта [1], не позволяют:

- подробно исследовать процесс возникновения разряда в газообразной среде над жидким нефтепродуктом в результате неточной оценки представления о распределении заряда под его поверхностью;
- дать оценку влияния разрядных явлений на формирование разрядов у поверхности раздела жидкость – металлическая стенка объема в момент интенсивного сосредоточения зарядов у поверхности стенок;
- оценить разрядное явление, как степень размещения энергии ЭП в единице объема вещества нефтепродукта;
- изучать состояние вещества нефтепродукта при избыточном заряде.

Поэтому нужны дополнительные исследования для изучения механизма и условий генерации разрядных явлений в замкнутых объемах, чтобы:

- оценивать максимальную емкость заряда удельного объема вещества нефтепродукта;
- определить способ передачи избыточного заряда веществом в окружающую среду (свойства разряда);
- уточнить воздействие заряда на состояние структуры и свойства жидких диэлектриков;
- проверить целесообразность и возможность использования заряженных жидких нефтепродуктов для практических целей.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Максимов Б.К., Обух А.А., Тихонов А.В. Электростатическая безопасность при заполнении резервуаров нефтепродуктами. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 154 с.
2. Галка В.Л. Электростатическая безопасность нефтеналивных судов и кораблей. – СПб.: Элмор. 1998. – 188 с.
3. 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.

ТОДОРЦЕВ Юрий Константинович – д.т.н., профессор кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов Одесского национального политехнического университета МОН Украины.

Научные интересы:

– моделирование и исследование процессов и моделей.

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.