

УДК 629.5.067.8.

М.А. Попов, канд. техн. наук,

А.П. Новосад, инженер

Севастопольский национальный университет ядерной энергетики и промышленности

ул. Курчатова, 7, г. Севастополь, Украина, 99033

E-mail: tmp2@sinp.com.ua

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ИМПУЛЬСНЫХ СТРУЙ ДЛЯ ТУШЕНИЯ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

Приводится методика определения электробезопасной дистанции импульсных аппаратов для тушения электрооборудования под напряжением, методика определения структуры импульсных струй и определения их эффективной дальности.

Ключевые слова: импульсные струи, структура, дальность, электробезопасность, пожары.

На предприятиях, и особенно на электростанциях, всегда возникает проблема по тушению электрооборудования под напряжением, которое не удается обесточить [1]. Связано это с опасностью поражения человека электрическим током по огнетушащей струе [2]. Большой вклад в борьбу с пожарами электрооборудования могут внести импульсные гидравлические системы пожаротушения.

В настоящее время в ряде стран разрабатываются импульсные системы пожаротушения [3]. Большинство этих систем создают распыленные струи. Но наиболее перспективны импульсные системы, создающие компактные струи, которые обладают наибольшей дальностью действия. Такие струи обладают большой кинетической энергией, малым расходом огнетушащего вещества и высокой точностью доставки огнетушащего вещества в зону пожара. Импульсные аппараты могут дополнять или заменять огнетушители с использованием воды как рабочего вещества. Не менее важно то, что использование воды для тушения улучшает экологию.

Основной областью применения импульсных аппаратов являются локальные пожары и пожары в начальной стадии развития. Особую ценность представляют они при тушении пожаров в труднодоступных или стесненных условиях: подвалы, чердаки, трюмы, узкие проходы и др. Кроме того, импульсные аппараты позволяют тушить электрооборудование под напряжением без применения каких-либо средств для защиты пожарника от поражения электрическим током по огнетушащей струе.

Сегодня не существует научно-обоснованной методики применения импульсных компактных струй, хотя это является одним из решений данного вопроса. Неизвестно как по внутренним параметрам импульсного аппарата определить минимальное безопасное расстояние, эффективную дальность струи и распределение огнетушащей жидкости по площади горения.

Задача данной работы – создание методики применения импульсного аппарата для тушения электрооборудования под напряжением водой.

Для исследования свойств импульсных струй создан экспериментальный импульсный аппарат и измерительный стенд [4].

В процессе проведения опытов получены зависимости электрического сопротивления струи: от расстояния от ствола, от давления выстрела и от диаметра spryska. На базе этих зависимостей построен график безопасных расстояний от ствола импульсного аппарата до горящего электрооборудования при заданной степени безопасности, выраженной в электрическом сопротивлении струи (рисунок 1). Например, если задаться сопротивлением струи $R=0,5$ МОм, то график 4 на рисунке 1 определит взаимосвязь давления и безопасного расстояния.

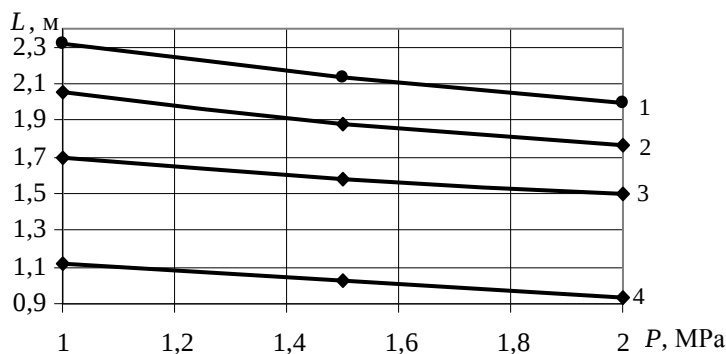


Рисунок 1 – Зависимость безопасного (наименьшего) расстояния от давления при диаметре spryska $D=13$ мм и пороге электрического сопротивления:
1 – 2,0 МОм; 2 – 1,5 МОм; 3 – 1,0 МОм; 4 – 0,5 МОм

Все четыре графика (1,2,3,4) на рисунке 1 описываются формулами, данными в таблице 1

Таблица 1 – Зависимость безопасного расстояния от давления

№ графика	Зависимость безопасного расстояния от давления $L = f(P)$	Величина достоверности аппроксимации R_*^2	R, МОм	Диаметр spryska D, мм
1	$L_1 = -0,32 \cdot P + 2,6333$	0,9948	2,0	13
2	$L_1 = -0,29 \cdot P + 2,3317$	0,9902	1,5	13
3	$L_1 = -0,2 \cdot P + 1,8933$	0,9868	1,0	13
4	$L_1 = -0,19 \cdot P + 1,3117$	0,9991	0,5	13

Экспериментальный график зависимости электрического сопротивления струи (в относительных единицах R/R_0) от диаметра spryska получен при давлении выстрела $P_1 = 2,0$ МПа и на фиксированном расстоянии от spryska. Зависимость электрического сопротивления струи от диаметра spryska при давлении выстрела $P_1 = 2,0$ МПа выражается следующей формулой

$$R/R_0 = 0,0344 \cdot D^2 - 1,0322 \cdot D + 8,5978, \quad R_*^2 = 1. \quad (1)$$

С другой стороны, зависимость безопасного расстояния от давления при электрическом сопротивлении струи $R = 2; 1,5; 1,0; 0,5$ МОм и диаметре spryska $D = 13$ мм выражается формулами в таблице 1.

Из формулы (1) и формул в таблице 1 найдены общие формулы зависимости безопасного расстояния от давления и диаметра spryska при электрическом сопротивлении струи соответственно $R = 2; 1,5; 1,0; 0,5$ МОм:

$$\begin{aligned} L_1 &= (-0,32 \cdot P + 2,6333)(0,0344 \cdot D^2 - 1,0322 \cdot D + 8,5978), & R &= 2,0 \text{ МОм;} \\ L_2 &= (-0,29 \cdot P + 2,3317)(0,0344 \cdot D^2 - 1,0322 \cdot D + 8,5978), & R &= 1,5 \text{ МОм;} \\ L_3 &= (-0,2 \cdot P + 1,8933)(0,0344 \cdot D^2 - 1,0322 \cdot D + 8,5978), & R &= 1,0 \text{ МОм;} \\ L_4 &= (-0,19 \cdot P + 1,3117)(0,0344 \cdot D^2 - 1,0322 \cdot D + 8,5978), & R &= 0,5 \text{ МОм.} \end{aligned}$$

Значения электрических сопротивлений, определяющих безопасные расстояния, отличные от указанных на графике или имеющих дробные значения, находятся методом интерполяции.

Данная методика позволяет определить минимальное безопасное расстояние до горящего электрооборудования под напряжением при заданной величине безопасности (что определяется величиной электрического сопротивления струи) и известных конструктивных параметрах импульсного аппарата. Методика дает возможность по имеющемуся техническому заданию проектировать импульсные аппараты с необходимыми параметрами.

Использование дистиллированной воды, которая является плохим проводником электрического тока, в импульсных аппаратах позволит еще более уменьшить безопасное расстояние до очага пожара или соответственно увеличит безопасность пожарного.

В импульсных аппаратах возможно использование и соленой воды, например морской, но в этом случае необходимо работать на расстоянии от электрооборудования большем, чем начальный участок струи.

Существующие способы определения структуры струи достаточно сложны в применении, поэтому была разработана и предложена методика исследования струи, при которой с минимальными расходами и достаточно оперативно можно получить информацию о структуре импульсной струи. Суть методики заключается в том, что проводится изучение не самой струи, а ее следа на грунте.

Для исследования плотности распределения воды в перпендикулярном к оси сечения свободной импульсной водяной струи поступали таким образом. Выбиралась ровная однородная асфальтированная пористая площадка необходимых размеров. Опыты производились в горячий солнечный безветренный полдень, когда солнце равномерно прогрело асфальт. На плоскости асфальтированного покрытия проводилась разметка. Далее делался выстрел из импульсного аппарата так, чтобы пятно от жидкости распределилось по размеченной поверхности. Контур мокрого пятна переносился на чертеж. После 2 минут подсыхания контур пятна, который уменьшился, опять переносился на чертеж. Так выполнялось до полного высыхания пятна с шагом в 2 мин. Картина контуров распределения плотности жидкости по поверхности грунта показана на рисунке 2. Данная методика может использоваться и в больших закрытых помещениях. В этом случае поверхность, на которую выпадет пятно, необходимо покрыть гигроскопичным материалом.

Очерченный контур S'_1 отвечает форме мокрого пятна сразу после выстрела из импульсного аппарата. Следующий контур S'_2 отвечает контуру после двух минут высыхания. Контур S'_3 , S'_4 и S'_5 получены через 4, 6 и 8 минут соответственно. Вытянутость на мокром пятне указывает на то, что во

время полета струи капли отстают и начинают смещаться вниз от оси струи. Они и выпадают на грунт раньше. Стрелкой указано направление движения струи.

Основу в этих опытах составляло допущение, что испарение жидкости идет равномерно, а время высыхания мокрого пятна на асфальте пропорционально количеству жидкости, которая попала на элементарный участок.

При небольшом количестве жидкости, которая выпадает на каждый элементарный участок и пористом грунте, такое допущение возможно. Такие измерения позволяют судить о распределении плотности жидкости в продольном и поперечном сечении пятна. Если распределение плотности на мокром пятне спроектировать в масштабе на сечение струи за пределами начального участка, то получим фактическое распределение плотности жидкости по сечению струи.

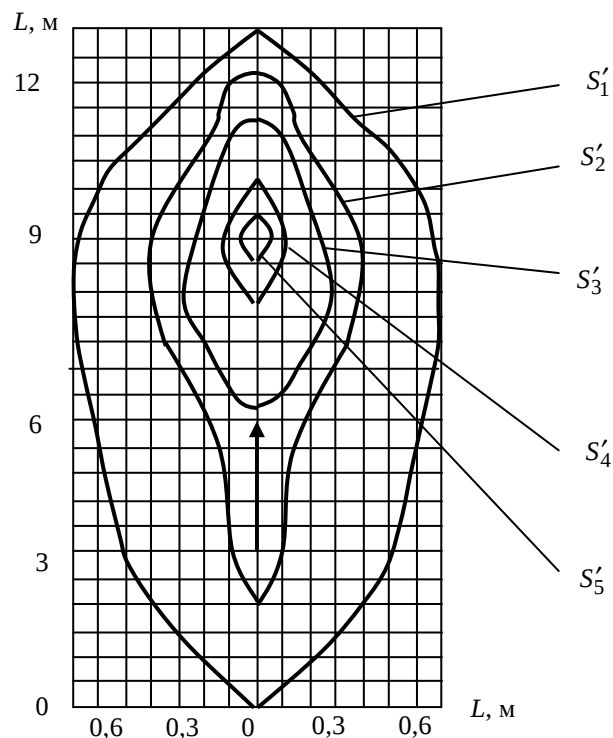


Рисунок 2 – Контуры распределения плотности жидкости по мокрому пятну

На ступенчатой диаграмме (рисунок 3) показаны количества осадков в мокром пятне на грунте в сечении S2. Площадь кругового пояса между контурами S'_1 и S'_2 обозначена знаком S_1^{Π} на ступенчатой диаграмме. Соответственно, площади круговых поясов между контурами S'_2 и S'_3 обозначены знаком S_2^{Π} , между S'_3 и S'_4 – S_3^{Π} , между S'_4 и S'_5 – S_4^{Π} .

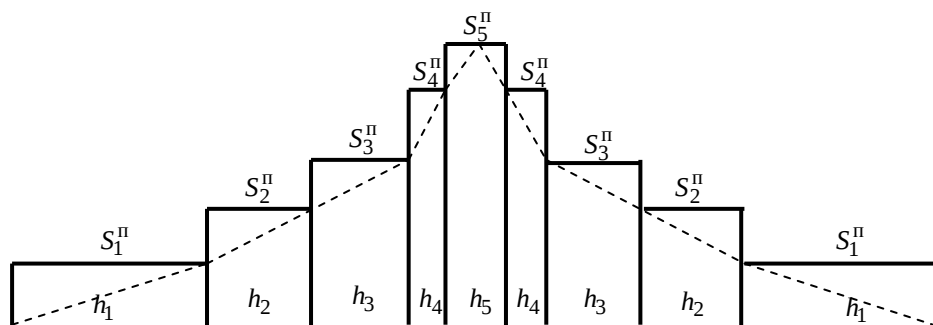


Рисунок 3 – Диаграмма количества осадков в мокром пятне на грунте

Площадь пояса S_5^{Π} есть площадь контура S_5' . Соответственно, толщина слоя жидкости на поясе S_1^{Π} равняется h_1 , на поясе $S_2^{\Pi} - h_2$, $S_3^{\Pi} - h_3$, $S_4^{\Pi} - h_4$, $S_5^{\Pi} - h_5$. Это есть высота осадка жидкости, которая выпала на данный пояс, которая пропорциональна времени высыхания пятна на данной плоскости. Количество жидкости на каждом поясе будет функцией площади и высоты осадка жидкости $M_i = f(S_i^{\Pi}, h_i)$.

Практическими измерениями были установлены следующие площади контуров (рисунок 2) в абсолютных (м^2) и относительных единицах (о.е.), которые представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Распределение площадей по контурам

Контур	Площадь, м^2	Площадь, о.е.
S_1'	12,35	1
S_2'	4,65	0,3765
S_3'	2,0	0,1619
S_4'	0,5	0,0405
S_5'	0,2	0,01619

Рассчитываем в относительных единицах распределение осадков по поясам, учитывая, что масса выстрела равна $M = 1,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. Данные расчетов сведены в таблицу 3.

По таблице 3 можно оценить, как распределяется жидкость по площади. Используя эти данные, можно рассчитать распределение огнетушащего вещества в очаге пожара и прогнозировать процесс тушения огня в различных ситуациях.

Таблица 3 – Площади поясов и распределение осадков по поясам

Пояс	Площадь пояса, м^2	Площадь пояса в относительных единицах	Высота осадка по поясам, м	Количество осадка по поясам, 10^{-3} м^3	Количество осадка по поясам в относит.ед.
S_1^{Π}	7,7	0,6235	0,000048	0,37	0,2846
S_2^{Π}	2,65	0,2146	0,000144	0,38	0,2923
S_3^{Π}	1,5	0,1215	0,00024	0,36	0,2769
S_4^{Π}	0,3	0,0243	0,00034	0,1	0,0769
S_5^{Π}	0,2	0,0162	0,00043	0,09	0,0693

На основе таблицы 3 построены диаграммы распределения масс осадков по поясам (рисунок 4). По оси ординат отложены площади поясов и массы осадков, которые выпали на соответствующих пояса, в относительных единицах. По оси абсцисс отложены названия поясов (S_i^{Π}). Из диаграммы видно, что

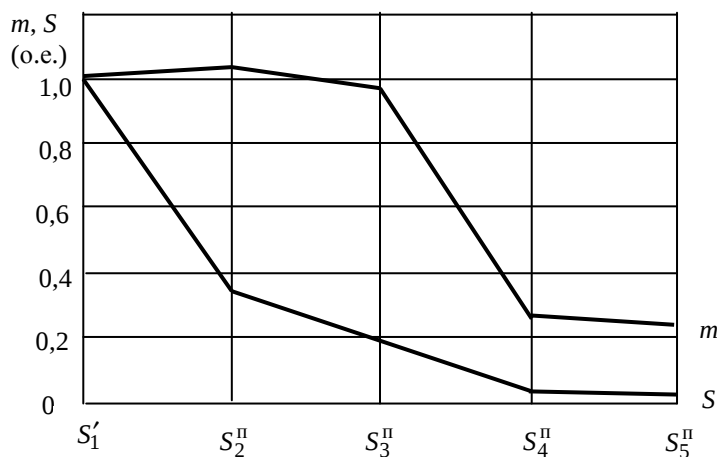


Рисунок 4 – Диаграммы распределения масс осадков по поясам

основная масса осадков (m) выпадает на площади первых трех поясов, а площадь поясов (S) быстро убывает.

При всем многообразии импульсных аппаратов, их параметры, определяющие эффективную дальность действия, можно свести к величинам давлений на входе в ствол и диаметра spryska. Необходимо учитывать, что часть массы воды в виде брызг выпадает на землю по пути полета струи. Поэтому под эффективной дальностью мы принимаем расстояние от ствола до перпендикулярной относительно земли плоскости, до которой доходит 75 % массы огнетушащей жидкости.

Определять эффективную дальность будем исходя из максимальной дальности, используя полученные нами экспериментальные данные. Под максимальной дальностью струи понимаем расстояние от ствола импульсного аппарата до самого дальнего края мокрого следа струи на грунте.

Зависимости максимальной дальности действия струи $L_{\max} = f(P)$ и $L_{\max} = f(D)$ были получены путем обработки результатов проведенных нами экспериментов. Зависимость максимальной дальности действия струи от давления $L_{\max} = f(P)$ в диапазоне 0,2 – 2,0 МПа для spryska диаметром 16 мм описывается квадратным уравнением

$$L_{\max}(P) = -3,6198P^2 + 15,753P + 7,975, \quad (2)$$

где $L_{\max}(P)$ – максимальная дальность действия струи, м; P – давление в рабочей камере, МПа.

Зависимость максимальной дальности действия струи от диаметра spryska $L = f(D)$ может быть описана формулой

$$L_{\max}(D) = 0,0212D^2 - 0,1325D + 21,709, \quad (3)$$

где $L_{\max}(D)$ – максимальная дальность действия струи, м; D – диаметр spryska, мм.

Формулы (2) и (3) позволяют выразить значение максимальной дальности стрельбы из импульсного аппарата в зависимости от давления и диаметра spryska $L_{\max} = f(P, D)$ в виде $L_{\max} = k \cdot L_{\max}(P) \cdot L_{\max}(D)$,

$$L_{\max} = 0,04 \left(-3,6198P^2 + 15,753P + 7,975 \right) \cdot \left(0,0212D^2 - 0,1325D + 21,709 \right).$$

Для определения эффективной дальности $L_{\text{эф}}$ необходимо проанализировать график зависимости полноты доставки жидкости в заданную плоскость на базе отпечатков мокрого пятна на грунте. Для этого использовались зависимости, полученные при геометрическом подсчете распределения плотности жидкости по контуру мокрого пятна в поперечных сечениях от начала до самой дальней точки. До начала мокрого пятна воды долетает 100 % – это соответствует для наших условий $L = 12$ м от ствола. Далее происходит выпадение капель до конца пятна.

Распределению массы жидкости по длине соответствует формула

$$m = -0,0068 \cdot L_{\max}^3 - 0,1128 \cdot L_{\max}^2 + 2,3515 \cdot L_{\max} + 95,21, \quad (4)$$

где m – процент доставки жидкости в данную точку, %. Для нахождения $L_{\text{эф}}$ подставляем в формулу (4) $m = 75\%$. Окончательная формула эффективной дальности, в зависимости от давления выстрела и диаметра spryska, будет иметь вид

$$L_{\text{эф}} = 0,026 \left(-3,6198P^2 + 15,753P + 7,975 \right) \cdot \left(0,0212D^2 - 0,1325D + 21,709 \right).$$

Выводы

Предложенная методика позволяет решить поставленную задачу – определять по внутренним характеристикам аппарата область применений импульсного аппарата для тушения электрооборудования, находящегося под напряжением.

Данные расчеты и диаграммы могут использоваться при проектировании аппаратов и стационарных мест их установки, а также при разработке инструкций по их применению.

В перспективе возможно применение методики исследования жидких струй при изучении влияния различных добавок на свойства струи и ее огнетушащей способности, а также при исследовании различных огнетушащих веществ.

Библиографический список использованной литературы

1. Аксентьев С.Т. Использование импульсных систем метания жидкости для борьбы с корабельными пожарами / С.Т. Аксентьев, В.А. Колпаков, А.П. Новосад // Арсенал XXI століття : наук.-вироб. журнал. — К., 2000. — № 3-4. — С. 54–57.

2. Инструкция по тушению пожаров в электроустановках предприятий и организаций Республики Беларусь РД БЭ 12 - 002 - 98. — Минск: Белэнерго, 1998. — 52 с.

3. Пат. 2107554 Российская Федерация, МПК В05В7/00, А01G25/00, А62С31/02. Способ создания газокапельной струи, установка для его осуществления и сопло для создания газокапельной струи / Зуев Ю.В.; — заявитель и патентообладатель научно-исследовательский институт низких температур при Московском государственном авиационном институте (техническом университете); заяв. 08.07.1996; опубл. 27.03.1998.

4. Аксентьев С.Т. Экспериментальный стенд для исследования характеристик импульсных жидких струй / С.Т. Аксентьев, О.П. Новосад // Вестник СевГТУ. Сер. Механика, энергетика, экология: сб. науч. тр. — Севастополь, 1999. — Вып. 16. — С. 93–97.

Поступила в редакцию 24.06.2010 г.

Попов М.А., Новосад О.П. Дослідження структури імпульсних струменів для гасіння електроустаткування під напругою

Наведено методику визначення електробезпечної дистанції імпульсних апаратів для гасіння електроустаткування під напругою, методика визначення структури імпульсних струменів і визначення їх ефективної дальності.

Ключові слова: імпульсні струмені, структура, дальність, електробезпека, пожежі.

Popov M.A., Novosad A.P. Research of the structure of impulsive streams for extinguishing electrical equipment under tension

A method for determination of the electric safety distance of impulsive devices for extinguishing electrical equipment under tension is provided, a method of determination of the structure of impulsive streams and determination of their effective distance is developed.

Keywords: impulsive streams, structure, distance, electric safety, fires.