

S.V. SARGSYAN

## MONITORING THE ELECTROTECHNICAL SYSTEMS OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF ORE GRINDING

The importance of monitoring of electrotechnical systems used in the ore-grinding process to ensure the regular operation of the technological process is substantiated. The causes of the grinding process failure are analyzed. A number of necessary tasks requiring a solution to ensure the monitoring of the electrotechnical systems of the ore-grinding technological process are proposed.

**Keywords:** monitoring, electrotechnical systems, electrical defects, mechanical defects.

УДК 621.319.4

Л.А. ВАРДАНЯН

## МЕТОД РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРОВ С ДВУМЯ ОХЛАЖДАЮЩИМИ ЗМЕЕВИКАМИ

Проведены исследования на модели конденсатора с обкладками, охлаждаемыми водой с одним и двумя змеевиками. Результаты экспериментального определения коэффициента теплоотдачи  $\alpha_T$  с двумя охлаждающими змеевиками положены в основу методики расчета электротермических конденсаторов с бумажно-масляным диэлектриком и фольговыми обкладками. Расчетные значения коэффициента теплоотдачи  $\alpha_T$  были получены на основе теории подобия с применением критериев Нуссельта, Рейнольдса и Прандтля. Экспериментальные данные коэффициента теплоотдачи  $\alpha_T$ , полученные на основе модели с двумя охлаждающими змеевиками, хорошо согласуются с расчетным значением коэффициента теплоотдачи  $\alpha_T$ .

**Ключевые слова:** электротермические конденсаторы, охлаждающие змеевики, емкость, частота, мощность, малые потери, высокая электрическая прочность, срок службы.

**Введение.** Известны серийно выпускаемые электротермические конденсаторы, которые имеют различные емкости и рассчитаны для работы при частоте 0,5...10 кГц. Мощность существующих конденсаторов составляет 200...650 кВар. Эти конденсаторы рассчитаны на работу с встроенными змеевиками, охлаждаемыми водой.

Известны также электротермические конденсаторы типа RFM китайского производства, которые рассчитаны на частоту 0,5...30 кГц.

Конденсаторы типа RFM имеют большую емкость, низкие диэлектрические потери, небольшие размеры, низкую нагреваемость, длительный срок службы, надежность и безопасность при эксплуатации. Корпус конденсатора изготовлен из нержавеющей стали.

Индукционный нагрев связан с большим потреблением индуктивного тока индуктором, что обуславливает очень низкий коэффициент мощности установок (0,01...0,1). Для повышения коэффициента мощности индукционных электротермических установок служат электротермические конденсаторы.

Эффективным средством для снижения температуры перегревов конденсаторов и увеличения допустимого значения рабочего напряжения (или тока) является применение водяного охлаждения. Для этой цели применяют наружную рубашку или змеевик, вводимый внутрь конденсатора [1-3].

При охлаждении змеевиками для определения коэффициента теплоотдачи  $\alpha_T$  можно воспользоваться формулой (3) для прямой трубы, выведенной из критериального уравнения (1), с последующим введением поправки для учета наличия закруглений в змеевике.

Критериальное уравнение для теплоотдачи в прямой трубе при турбулентном (вихревом) движении имеет вид [4]

$$Nu = 0,023Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}. \quad (1)$$

Критерий Прандтля берется по известной таблице [4], а критерий Рейнольдса вычисляется по формуле

$$Re = \frac{V_g d}{\nu_g}, \quad (2)$$

где  $V_g$  - скорость воды, м/с;  $d$  - внешний диаметр змеевика (трубы), м;  $\nu_g$  - кинематическая вязкость воды, которую берут по известной таблице [4].

Вычислив  $Nu$ , находим  $\alpha_T$  по формуле

$$\alpha_T = Nu \cdot \frac{\lambda_g}{d} \left(1 + 1,77 \frac{d}{R}\right), \quad (3)$$

где  $\lambda_g$  - коэффициент теплопроводности воды при 20°C, Вт/м<sup>2</sup>·град, берется по известной таблице [4];  $d$  - внешний диаметр змеевика, м;  $R$  - радиус закругленной части змеевика, м.

Выражение в правой части формулы (3), взятое в скобки, дает поправку на наличие закруглений в змеевике.

Для определения охлаждающей поверхности змеевика можно использовать выражение

$$S = \pi dL, \quad (4)$$

где  $d$  - внешний диаметр змеевика, м;  $L$  - длина змеевика, м.

**Постановка задачи и обсуждение результатов исследования.** Для электротермических конденсаторов первоочередной задачей является определение допустимого перегрева:

$$P = \alpha_T \Delta t S, \quad (5)$$

где  $P$  - допустимая мощность конденсатора,  $Вт$ ;  $\alpha_T$  - теплоотдача конденсатора,  $Вт/м^2 \cdot град$ ;  $\Delta t$  - перегрев конденсатора,  $град$ ;  $S$  - поверхность охлаждения,  $м^2$ .

Для расчета перегрева конденсатора при заданной допустимой мощности необходимо знание коэффициента теплоотдачи  $\alpha_T$ . Можно определить  $\alpha_T$  на основе теории подобия, используя критерии  $Nu$ ,  $Re$  и  $Pr$ .

Как отмечено выше, коэффициент Рейнольдса определяется по формуле (2):

$$Re = \frac{1,2 \cdot 0,01}{1 \cdot 10^{-6}} = 12000.$$

Определим коэффициент Нуссельта по формуле (1):

$$lgNu = lg0,023 + 0,8lg12000 + 0,4lg7,06 = 1,9648.$$

По известному коэффициенту  $Nu$  определяется  $\alpha_T$  по формуле (3):

$$\alpha_T = 93 \cdot \frac{0,515}{0,01} \left( 1 + 1,77 \cdot \frac{0,01}{0,03} \right) = 0,883.$$

**Экспериментальное исследование по определению коэффициента теплоотдачи  $\alpha_T$ .** Экспериментальные исследования проводились на модели конденсатора, которая представляла собой обкладки конденсаторного типа, присоединенные к змеевику длиной 0,3 м. В качестве нагревательного элемента, имитирующего потери конденсаторной бумаги, использовались нагреватели с односторонней и двусторонней намоткой нагревательного элемента. С целью равномерного распределения мощности нагревательные элементы с обеих сторон прокладывались листовой слюдой толщиной 0,5 мм. Поверх нагревательного элемента и слюды прокладывалась бумага с толщиной 80 мкм (это равносильно толщине 10 слоев конденсаторной бумаги с толщиной 8 мкм) [5].

Так называемый “сэндвич” прокладывается между обкладками, охлаждаемыми водой. За счет изменения напряжения мощность нагревательного элемента изменялась с помощью лабораторного автотрансформатора в пределах 100, 200, 300 и 400 Вт. Температура на входе и выходе змеевиков измерялась с ртутными термометрами с ценой деления 0,1°C. Скорость воды через змеевики определялась по известному объему и времени наполнения. В табл. 1 приведены значения времени от скорости воды для заданного объема.

Таблица 1

Значения времени от скорости воды для заданного объема

$V,$ $м^3$	$t,$ $с$	$V_в,$ $м/с$
$1 \cdot 10^{-3}$	16,6	0,6
$1 \cdot 10^{-3}$	8,3	1,2

Результаты эксперимента с одним охлаждающим змеевиком приведены в табл. 2, а с двумя охлаждающими змеевиками - в табл. 3 при одинаковой скорости воды, равной 1,2 м/с.

В табл. 2 отсутствуют значения  $\alpha_T$  и  $\Delta t$  при 300 и 400 Вт в связи с тем, что с одним змеевиком перегревы получились большими из-за слабого охлаждения.

Таблица 2

Перегревы модели конденсатора с одним охлаждающим змеевиком

$P,$ $Вт$	$U,$ $В$	$I,$ $А$	$t_1$ (вход), $^{\circ}C$	$t_2$ (выход), $^{\circ}C$	$\Delta t,$ $^{\circ}C$	$\alpha_T,$ $Вт/м^2 \cdot град$
100	35,9	2,9	31	31,1	0,1	10,61
200	50,79	3,9	31,7	32,1	0,4	5,3

Таблица 3

Перегревы модели конденсатора с двумя охлаждающими змеевиками

$P,$ $Вт$	$U,$ $В$	$I,$ $А$	$t_1$ (вход), $^{\circ}C$	$t_2$ (выход), $^{\circ}C$	$\Delta t,$ $^{\circ}C$	$\alpha_T,$ $Вт/м^2 \cdot град$
100	40,25	2,45	29,5	29,5	0	-
200	56,92	3,4	30,3	30,5	0,2	10,6
300	69,71	4,125	31,3	31,7	0,4	7,96
400	80,5	4,8	32,7	33,3	0,6	7,07

Сравнение табл. 2 и 3 показывает, что отношение перегревов и соответствующих коэффициентов теплоотдачи с одним и двумя змеевиками составляет два. Охлаждение с двумя змеевиками снижает перегревы конденсаторов в два раза, следовательно, можно для бумажно-фольговых конденсаторов увеличить частоту вдвое.

Отметим также, что для охлаждения индуктора преобразователя частоты применяется охлаждающая вода, следовательно, дополнительного источника воды не требуется.

## Выводы

1. Охлаждение конденсатора двумя змеевиками показывает, что при перепаде температуры  $\Delta t$  в два раза при той же мощности конденсатора коэффициент теплоотдачи  $\alpha_T$  увеличивается вдвое.

2. Как показывают результаты экспериментальных данных с двумя охлаждающими змеевиками, частоту применения электротермических конденсаторов можно увеличить вдвое с соответствующей корректировкой емкостей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Гулевич А.И., Киреев А.П.** Производство силовых конденсаторов: Учеб. пособие для подготовки рабочих на производстве.- Изд. 4-е, перераб. и доп.- М.: Высш. школа, 1981.- 284 с.
2. **Иванова Н.Ю., Комарова И.Э., Бондаренко И.Б.** Электрорадиоэлементы. Часть 2. Электрические конденсаторы.- СПб.: Университет ИТМО, 2015.- 94 с.
3. Патент ЧССР CS 117752, кл. 21g, 10/02 (H 01g).- Оpubл. 15.03.66.
4. **Ренне В.Т.** Электрические конденсаторы.- Л.: Энергия, 1969.- 592 с.
5. Արտոնագիր №3224A Ջրային հովացումով կոնդենսատոր /**Լ.Ա. Վարդանյան, Մ.Ք. Բաղդասարյան, Պ.Հ. Խաչատրյան, Է.Վ. Կուրդինյան.** - Հրատարակված է 01.10.2018թ.

## Լ.Ա. ՎԱՐԴԱՆՅԱՆ

### ԵՐԿՈՒ ՀՈՎԱՑՆՈՂ ԳԱՆՏՐԱԿՆԱԿԱԿՈՎ ԷԼԵԿՏՐԱՋԵՐՄԱՅԻՆ ԿՈՆԴԵՆՍԱՏՈՐՆԵՐԻ ՀԱՇՎԱՐԿՄԱՆ ՄԵԹՈԴ

Կատարվել են հետազոտություններ կոնդենսատորի մոդելի վրա մեկ և երկու գալարախողովակով ջրով հովացվող շրջադիրներով: Երկու գալարախողովակով  $\alpha_T$  ջերմատվության գործակցի փորձական տվյալների որոշման հիմքում ընկած է թղթայուղային դիէլեկտրիկով և նրբաթիթեղային շրջադիրներով էլեկտրաջերմային կոնդենսատորների հաշվարկման մեթոդը:  $\alpha_T$  ջերմատվության գործակցի հաշվարկային արժեքները ստացվել են նմանության տեսության հիման վրա՝ Նուսսելտի, Ռեյնոլդսի և Պրանդտլի չափանիշների կիրառմամբ:  $\alpha_T$  ջերմատվության գործակցի փորձական տվյալները, որոնք ստացվել են երկու հովացնող գալարախողովակով մոդելի վրա, լավ համընկնում են  $\alpha_T$  ջերմատվության գործակցի հաշվարկային արժեքներին:

**Առանցքային բառեր.** էլեկտրաջերմային կոնդենսատորներ, հովացնող գալարախողովակներ, ունակություն, հաճախություն, հզորություն, փոքր կորուստներ, բարձր էլեկտրական ամրություն, ծառայության ժամկետ:

L.A. VARDANYAN

**METHOD OF CALCULATING THE ELECTROTHERMAL CAPACITORS  
WITH TWO COOLING WATER COILS**

Studies on a model of a condenser with plates cooled by water with one and two coils are carried out. The results of the experimental determination of the heat transfer coefficient  $\alpha_T$  with two cooling coils are used as a basis for calculating the electrothermal capacitors with a paper-oil dielectric and foil sheets. The calculated values of the heat transfer coefficient  $\alpha_T$  were obtained on the basis of the similarity theory with application of the Nusselt, Reynolds and Prandtl criteria. The experimental data of the heat transfer coefficient  $\alpha_T$  obtained on the basis of a model with two cooling coils are in good agreement with the calculated value of the heat transfer coefficient  $\alpha_T$ .

**Keywords:** electrothermal capacitors, cooling coils, capacitance, frequency, power, low losses, high electrical strength, service life.

ՀՏԴ 621.31.0.16.313

**Լ.Վ. ԱԼԵՔՍԱՆՅԱՆ, Գ. Խ. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Ա.Վ. ՇԱՀԻՆՅԱՆ**

**0,38/0,22 կՎ ԼԱՐՄԱՆ ԷԼԵԿՏՐԱԿԱՆ ՑԱՆՑԻ ՕԴԱՅԻՆ ՄԵԿՈՒՍԱՑՎԱԾ  
ԷԼԵԿՏՐԱՀԱՂՈՐԴՄԱՆ ԳԾԵՐԻ ՀՈՒՍԱԼԻՈՒԹՅԱՆ ԳՆԱՀԱՏԱԿԱՆԸ**

Կատարված վերլուծության արդյունքներով բացահայտվել է, որ 0,38/0,22 կՎ լարման էլեկտրական ցանցերում օդային մեկուսացված էլեկտրահաղորդման գծերի կիրառումն ապահովում է մինչև 51% բարձր հուսալիության մակարդակ՝ բաց հաղորդալարերի համեմատ:

**Առանցքային բառեր.** էլեկտրամատակարարման հուսալիություն, վթարային մերժում, հուսալիության քանակական ցուցանիշներ, օդային մեկուսացված էլեկտրահաղորդման գիծ:

0,38/0,22 կՎ լարման էլեկտրամատակարարման հուսալիության հարցը ձևավորվել է դեռևս անցյալ դարի 50-ական թվականների սկզբին: Էլեկտրամատակարարման համակարգը ունի կառուցվածքային և սկզբունքային մի շարք առանձնահատկություններ [1]:

▪ էլեկտրամատակարարման բնույթը՝ էլեկտրաէներգիայի անընդհատ և հուսալի հաղորդման և սպառման գործընթացում,

▪ սպառիչների էլեկտրաէներգիայի բազմաբնույթ օգտագործումը և տարբեր պահանջները էլեկտրամատակարարման հուսալիության և որակի նկատմամբ,