

**VI Международная молодежная научно-практическая
конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

313-1

17-23 ноября 2023 года

УДК 621.314

М.Ш. МУХАММАДЖОНОВ, ФерПИ, базовый докторант, г. Фергана,
Узбекистан,
Науч. рук. PhD, с.н.с. Д.Т. ЮСУПОВ, ИПЭ АН РУз, г. Ташкент,
Узбекистан

**СПОСОБ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ МАСЛЯНЫХ
СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ЕСТЕСТВЕННОЙ
ЦИРКУЛЯЦИЕЙ**

Масляные силовые трансформаторы являются основным устройством распределения и передачи электрической энергии в энергосистеме [1]. По результатам анализа типов охлаждения и процессов масляных силовых трансформаторов в энергосистеме установлено, что наиболее применяемым типом являются трансформаторы с естественной циркуляцией масла и воздушной системой охлаждения [3]. В результате повышения температуры силовых трансформаторов с естественной циркуляцией масла под воздействием нагрузки и внешней температуры сокращается срок службы изоляции сердечника трансформатора [4]. Для решения этой проблемы проводится множество научных исследований. Тем не менее их дополнительное охлаждение не было проведено в достаточной степени [5].

Дополнительное охлаждение трансформаторов с помощью предлагаемого охлаждающего устройства осуществляется преимущественно двумя способами: «вентилятор» и «вентилятор + фреон».

Для силовых масляных трансформаторов с естественной воздушно-масляной циркуляцией (М) по ГОСТ 14209-97 представлено выражение для определения максимальной температуры наиболее горячей точки при нагрузке К [6]. Соответственно, максимальная температура самой горячей точки нагрузки К равна сумме температуры внешней среды, температуры масла в верхних слоях трансформатора и разности температур самой горячей точки в верхних слоях трансформатора [6].

$$\theta_{tr} = \theta_h + \Delta\theta_m \cdot \left[\frac{1+R \cdot K^2}{1+R} \right]^x + \Delta\theta_{i.m} \cdot K^y \quad (1)$$

θ_{tr} – температура самой горячей точки трансформатора, $^{\circ}\text{C}$; θ_h – температура наружного воздуха, $^{\circ}\text{C}$; $\Delta\theta_m$ – температура нагретой точки масла, $^{\circ}\text{C}$; $\Delta\theta_{i.m}$ – повышение температуры самой горячей точки от

**VI Международная молодежная научно-практическая
конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
313-2**
17-23 ноября 2023 года

температуры верхнего слоя масла, ${}^{\circ}\text{C}$; $K = \frac{S_1}{S_{nom}}$ – коэффициент нагрузки

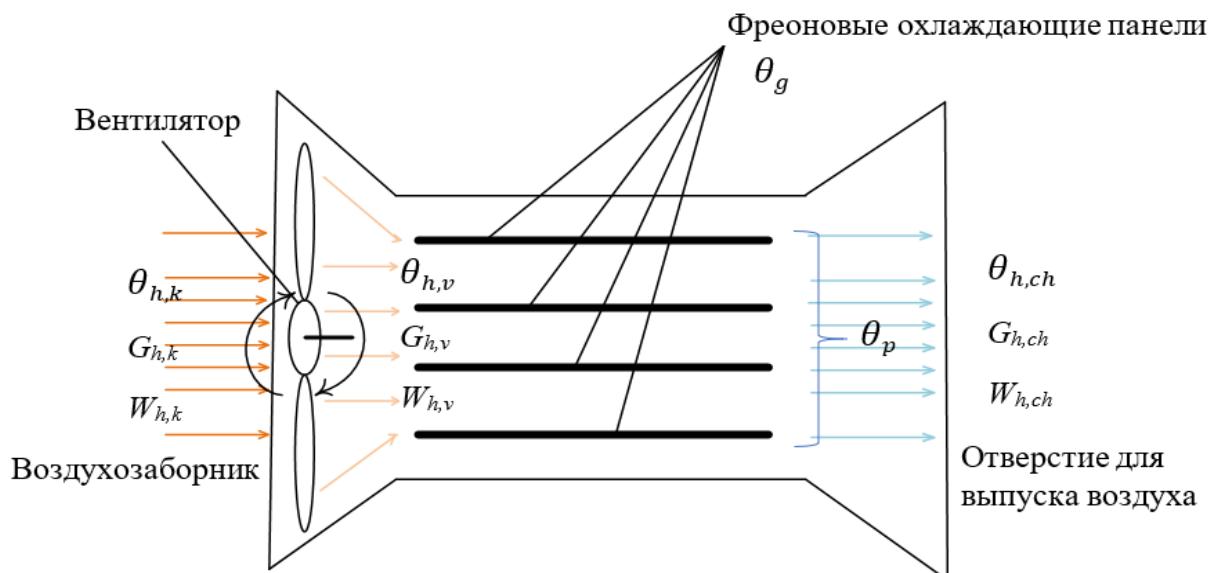
(отношение мощности нагрузки к номинальной мощности); $R = \frac{P_{qt.nom}}{P_{si.nom}}$ –

отношение потерь мощности короткого замыкания к потерям холостого хода; $P_{qt.nom}$ – потеря мощности при коротком замыкании, Вт; $P_{si.nom}$ – энергопотребление в рабочих режимах, Вт; x – показатель уровня общих потерь при расчете повышения температуры масла; y – показатель коэффициента нагрузки при расчете повышения температуры бака; здесь по ГОСТ 14209-85 для трансформаторов с системой охлаждения M(ONAN) $x=0.9$ и $y=1.6$.

Формирование тепловых процессов, происходящих в силовых масляных трансформаторах в процессе эксплуатации, зависит от влияния внешней температуры и коэффициента нагрузки, присадка предназначена для снижения высокой температуры в силовых масляных трансформаторах с естественной циркуляцией масла и охлаждающей способностью воздуха. предлагаемое дополнительное охлаждающее устройство определяется исходя из законов сохранения энергии и массы, процессов теплопередачи, теории теплоты, эффективности охлаждения мобильного охлаждающего устройства и ее влияния на температуру трансформатора.

При определении температуры, выходящей из холодильной камеры мобильного холодильного устройства, с использованием законов сохранения энергии и массы, ряда Тейлора, процессов теплопередачи, теории теплоты были получены следующие выражения [2].

Таким образом, согласно законам сохранения энергии и массы можно вывести ряд уравнений.



**VI Международная молодежная научно-практическая
конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»
313-3
17-23 ноября 2023 года**

Рис. 1. Принципиальная схема холодильной камеры мобильного холодильного устройства

Холодопроизводительность вентилятора, выбранного для установки, определяется по выражению [2].

$$q_c = \rho_h c_h G_{h,v} (\theta_{h,k} - \theta_{h,v}) \quad (2)$$

где, q_c – охлаждающая способность, Вт; $G_{h,v}$ – расход воздуха в вентиляторе, кг/с; $\theta_{h,v}$ – температура вытяжного воздуха агрегата, °С; $\theta_{h,k}$ – температура воздуха на входе, °С; ρ_h – плотность воздуха при стандартных условиях = 1,2 кг/м³; c_h – удельная теплоемкость воздуха = 1,0 кДж/(кг·К).

При дополнительном охлаждении силового трансформатора с помощью вентилятора, температура воздуха, выходящего из устройства, определяется по выражению (3) [2].

$$\theta_{h,v} = \theta_{h,k} - \frac{q_c}{\rho_h c_h G_{h,v}} \quad (3)$$

За счет использования предлагаемого дополнительного устройства охлаждения силовых масляных трансформаторов с естественной системой охлаждения можно увеличить процесс теплоотдачи на поверхности трансформатора в 1,5 раза.

Список литературы:

1. H. Zhang, G. Liu, B. Lin, H. Deng, Y. Li, P. Wang. Thermal evaluation optimization analysis for non-rated load oil-natural air-natural transformer with auxiliary cooling equipment. IET Generation, Transmission & Distribution, 16(15), (2022). pp. 3080-3091.
2. Brignoli, Riccardo, et al. “Refrigerant performance evaluation including effects of transport properties and optimized heat exchangers”, International Journal of Refrigeration 80 (2017): pp. 52-65.
3. Д.Т. Юсупов, М.Ш. Мухаммаджонов, Х.М. Кодиров, Х.А. Хамракулова. Влияние температуры окружающей среды на эксплуатируемый силовой масляный трансформатор // VI Всероссийская научно-практическая конференция «Энергетика и энергосбережение: Теория и практика» 8-10 декабря 2021г. (С. 426-1-426-3).
4. Д.Т. Юсупов, М.Ш. Мухаммаджонов. Эффективное метод охлаждение силовых масляных трансформаторов // V Всероссийская (с

**VI Международная молодежная научно-практическая
конференция «ЭНЕРГОСТАРТ»**

313-4

17-23 ноября 2023 года

международным участием) молодежная научно-практическая конференция «ЭНЕРГОСТАРТ» 321-1 20-22 октября 2022 г. (С 321-1-3).

5. М.Ш. Мухаммаджонов. Факторы, влияющие на работы силовых трансформаторов. «Казанский государственный энергетический университет» «Энергетика и цифровая трансформация» Международная молодежная научная конференция, Казань, 27-29 апреля 2022 г. (С 340-342).

6. ГОСТ 14209-97. Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов. – Введ. 2002-01-01. – М. : Б.М., 2002. – 84 с.

Информация об авторах:

Юсупов Дилмурад Турдалиевич, PhD, с.н.с. ИПЭ АН РУз, г. Ташкент Республика Узбекистан, dilmurod85@list.ru

Мухаммаджонов Мухаммадюсуп Шухрат угли, базовый докторант (ФерПИ), 150811, ул. Зиндонтепа, д. 57, р. Кувинский, г. Фергана, Узбекистан. mrmuhammadyusuf0013@gmail.com