



Столыпинский  
вестник

Научная статья

Original article

УДК 656.25

**МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ  
ТРАНСФОРМАТОРОВ С ФОРСИРОВАННЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ**  
MODERNIZATION OF TRACTION SUBSTATIONS USING TRANSFORMERS  
WITH FORCED COOLING

**Шефер Дмитрий Николаевич**, студент, Красноярский институт железнодорожного транспорта - филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения» (КрИЖТ ИрГУПС), Россия, г. Красноярск, Rostok113@mail.ru

**Киреев Дмитрий Борисович**, студент, Красноярский институт железнодорожного транспорта - филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения» (КрИЖТ ИрГУПС), Россия, г. Красноярск, 12476kirey@mail.ru

**Беспрозванных Андрей Сергеевич**, студент, Красноярский институт железнодорожного транспорта - филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения» (КрИЖТ ИрГУПС), Россия, г. Красноярск, 4912BesPRO21@mail.ru

**Колмаков Виталий Олегович**, научный руководитель, кандидат технических наук, Красноярский институт железнодорожного транспорта - филиал

федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения» (КрИЖТ ИрГУПС), Россия, г. Красноярск

**Dmitry N. Schaefer**, student, Krasnoyarsk Institute of Railway Transport - branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Irkutsk State University of Railways" (KRIZHT IrGUPS), Russia, Krasnoyarsk, Rostok113@mail.ru

**Kireev D. Borisovich**, student, Krasnoyarsk Institute of Railway Transport - branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Irkutsk State University of Railways" (KRIZHT IrGUPS), Russia, Krasnoyarsk, 12476kirey@mail.ru

**Besprozvannykh A. Sergeevich**, student, Krasnoyarsk Institute of Railway Transport - branch of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Irkutsk State University of Railways" (KRIZHT IrGUPS), Russia, Krasnoyarsk, 4912BesPRO21@mail.ru

**Kolmakov Vitaly Olegovich**, Scientific Supervisor, Candidate of Technical Sciences, Krasnoyarsk Jelly Institute

**Аннотация.** В статье рассмотрен метод усиления системы тягового электроснабжения, путем установки устройств форсированного охлаждения масла на силовые трансформаторы.

**Annotation.** The article considers the method of strengthening the traction power supply system by installing forced oil cooling devices on power transformers.

**Ключевые слова:** система тягового электроснабжения, силовые трансформаторы, система охлаждения трансформатора, тяговая подстанция, пропускная способность.

**Keywords:** traction power supply system, power transformers, transformer cooling system, traction substation, throughput.

В настоящее время на Красноярской железной дороге происходит увеличение грузопотока. С ростом массы составов растет нагрузка на тяговые подстанции и на многих подстанциях отмечается нехватка трансформаторной мощности. [1]

Задача увеличения пропускной способности электрических подстанций традиционно решается путем их реконструкции с заменой трансформаторов на более мощные или строительством новой подстанции. Однако, это требует больших инвестиций, пересмотра проекта подстанции, длительного времени на выполнение строительно-монтажных работ. Также, это не всегда возможно из-за недопустимости снижения уровня энергообеспечения существующих объектов на длительный период, отсутствия площадей в условиях тесной застройки, достаточных финансовых ресурсов и пр. Более экономичной альтернативой традиционным решениям в ряде случаев может быть модернизация трансформаторов с увеличением их нагрузочной способности.

Нагрузочная способность трансформаторов — это совокупность допустимых нагрузок и перегрузок.

Допустимые перегрузки трансформаторов и автотрансформаторов в нормальных режимах работы определяются старением изоляции его обмоток — бумаги. Старение изоляции приводит к изменению исходных электрических, механических и химических свойств изоляционных материалов трансформаторов. Сроком естественного износа трансформатора, работающего в номинальном режиме, считается срок, равный примерно 20 годам.

Для нормального суточного износа изоляции трансформатора температура наиболее нагретой точки его обмоток не должна превышать 98 °С. По правилу, предложенному немецким ученым Монтзингером, следует, что если температуру увеличить на 6 °С, срок службы изоляции сократится примерно в 2 раза. В данном случае под температурой наиболее нагретой точки подразумевается температура наиболее нагретого внутреннего слоя обмотки верхней катушки трансформатора.

Допустимые перегрузки силовых трансформаторов с типом охлаждения Д и М и их продолжительность представлены в таблице 1. [8]

Таблица 1 – Допустимая продолжительность перегрузки трансформаторов с охлаждением М и Д

Нагрузка в долях от номинальной	Допустимая продолжительность перегрузки (ч, мин) при превышении температуры верхних слоев масла над температурой воздуха в момент начала перегрузки, °С					
	18	24	30	36	42	48
1,05	Длительно	Длительно	Длительно	Длительно	Длительно	Длительно
1,1	3,50	3,25	2,50	2,10	1,25	0,10
1,15	2,50	2,25	1,50	1,20	0,35	–
1,2	2,05	1,40	1,15	0,45	–	–
1,25	1,35	1,15	0,50	0,25	–	–
1,3	1,10	0,50	0,30	–	–	–
1,35	0,55	0,35	0,15	–	–	–
1,4	0,40	0,25	–	–	–	–
1,45	0,25	0,10	–	–	–	–
1,5	0,15	–	–	–	–	–

В соответствии с ПТЭЭП, в аварийных режимах допускается кратковременная перегрузка трансформаторов сверх номинального тока при всех системах охлаждения независимо от длительности и значения предшествующей нагрузки и температуры охлаждающей среды в следующих пределах указанных в таблице 3. [6]

Таблица 3 – Допустимые кратковременные перегрузки масляных трансформаторов

Перегрузка по току, %	30	45	60	75	100
Длительность перегрузки, мин	120	80	45	20	10

При работе трансформатора происходит нагрев обмоток и магнитопровода за счет потерь энергии в них. Предельный нагрев частей трансформатора ограничивается изоляцией, срок службы которой зависит от температуры

нагрева. Чем больше мощность трансформатора, тем интенсивнее должна быть система охлаждения. [7]

В настоящее время в отечественных масляных трансформаторах применяются системы охлаждения, приведенные в таблице 4. [6]

Таблица 4 – Виды систем охлаждения масляных трансформаторов

Циркуляция масла	Охлаждение масла	Обозначение системы охлаждения
Естественная	Естественное воздушное	М
Естественная	Принудительное воздушное	Д
Принудительная	Естественное воздушное	МЦ
Принудительная	Принудительное воздушное	ДЦ
Естественная	Принудительное Водяное	МВ
Принудительная	Принудительное водяное	Ц
Принудительная направленная	Принудительное воздушное	НДЦ
Принудительная направленная	Принудительное водяное	НЦ

В основном на тяговых подстанциях Красноярской железной дороги установлены силовые трансформаторы ТДТНЖ 110-81-У1 мощностью 40000 кВА с типом охлаждения – Д (принудительная циркуляция воздуха и естественная циркуляция масла).

Система охлаждения трансформатора Д – с дутьем и естественной циркуляцией масла. Трансформаторы данной системы охлаждения конструктивно имеют вентиляторы обдува, устанавливаемые в навесные радиаторы, по которым циркулирует трансформаторное масло.

Обдув трансформатора данной системы охлаждения включается при достижении температуры верхнего слоя трансформаторного масла 55 °С и более, либо при достижении номинальной нагрузки трансформатора, независимо от температуры масла. Система охлаждения Д используется для трансформаторов номинальной мощностью 16-80 МВ\*А

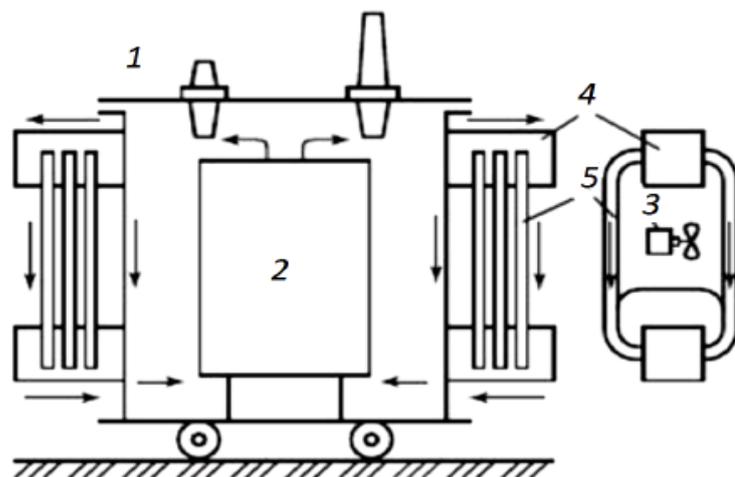


Рисунок 1 – Система охлаждения трансформаторов Д типа:

1 — бак; 2 — выемная часть; 3 — вентиляторы; 4 — коллектор; 5 — трубчатый радиатор

Повысить эффективность работы существующей системы охлаждения трансформатора для улучшения рассеивания возрастающих с ростом допустимых нагрузок суммарных потерь холостого хода и короткого замыкания и увеличения нагрузочной способности трансформатора, можно с помощью проведения модернизации системы воздушного охлаждения трансформаторного масла.

Увеличить нагрузочную способность силового трансформатора можно с помощью модернизации системы охлаждения, а именно применением форсированной системы охлаждения трансформаторного масла.

В отечественном трансформаторостроении имеется успешный опыт создания в Тольятти трансформаторов серии 110 кВ с так называемой форсированной системой охлаждения, например, типов ТДТНФ-40000/110, ТДТНЖФ-40000/110. Суть конструкции состоит в том, что наряду с радиаторами трансформатор оснащается дополнительно одним или несколькими маслоохладителями с системой многоходовых трубок с развитой наружной поверхностью, по которым принудительно циркулирует охлаждаемое масло и которые обдуваются вентиляторами большой производительности.

Такие трансформаторы с успехом эксплуатируются в сетях со значительными пиковыми перегрузками. Так, трансформатор 40 МВА при работающей системе форсированного охлаждения эксплуатируется с повышенной нагрузкой, допустимой для обычного трансформатора мощностью 63 МВА.

Модернизация системы охлаждения силовых трансформаторов на тяговых подстанциях Красноярской железной дороги будет проведена с помощью перехода от типа охлаждения Д на тип охлаждения ДЦ.

Для трансформаторов мощностью 10000 кВА и более применяется охлаждение с принудительной циркуляцией масла и воздуха. По сравнению с системами М и Д, система ДЦ более эффективна. Охладители системы охлаждения ДЦ состоят из двух вентиляторов и маслонасоса и навешиваются на бак трансформатора, но могут устанавливаться и на отдельном фундаменте.

Охладители системы охлаждения ДЦ нашли самое широкое применение в трансформаторостроении. Конструкция охладителя представлена на рисунке 2.

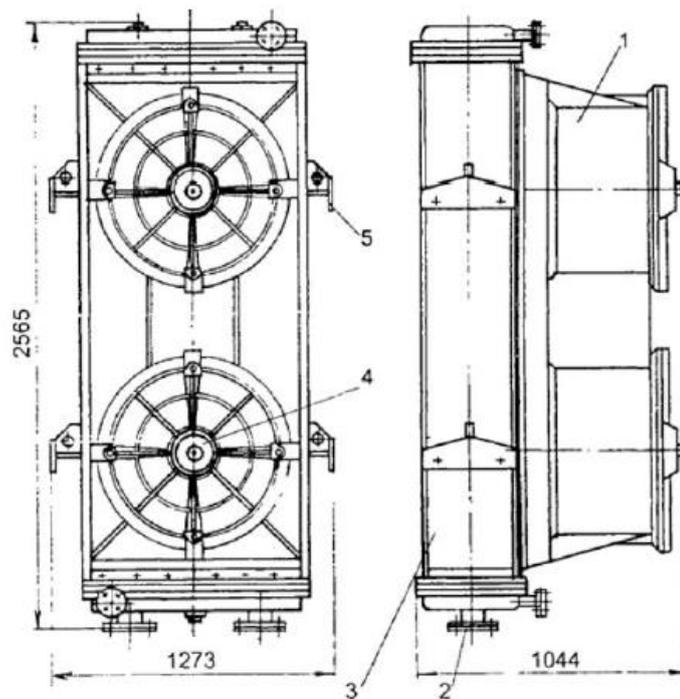


Рисунок 2 – Охладитель алюминиевый четырехходовой:

1 — кожух вентилятора; 2 — фланец подвода масла; 3 — радиатор охладителя; 4 — вентилятор; 5 — кронштейн для крепления охладителя

Модернизация силовых трансформаторов с увеличением нагрузочной способности может быть эффективным решением задач увеличения пропускной способности подстанций и повышения надежности энергоснабжения.

Наиболее экономичным способом увеличения нагрузочной способности силовых трансформаторов является реконструкция системы охлаждения с использованием дополнительно одного или нескольких маслоохладителей.

Увеличение нагрузочной способности при этом не сопровождается ускорением термического износа электрической целлюлозной изоляции трансформаторов.

### Литература

1. Приказ №КРАС-51 от 30.01.2019 «Об организации тягового электроснабжения при обращении грузовых тяжеловесных поездов, грузовых соединенных поездов и поездов повышенной массы на Красноярской железной дороге».
2. Марквардт, К. Г. Электроснабжение электрифицированных железных дорог: Учебник для вузов ж.д. трансп. /К.Г. Марквардт. – М.: Транспорт, 2018 – 528 с.
3. Бондарев, Н.А. Контактная сеть: Учебник для вузов ж.д. трансп. / Н.А. Бондарев, В.Е. Чекулаев. – М.: Маршрут, 2020. – 590 с.
4. Почаевец, В.С. Электрические подстанции: Учебник для техникумов и колледжей ж. д. транспорта /Н.А. Почаевец. – М.: Желдориздат, 2020. – 512 с.
5. Силовое оборудование тяговых подстанций железных дорог (сборник справочных материалов). / ОАО «Российские железные дороги», филиал «Проектно – конструкторское бюро по электрификации железных дорог». – М.: «ТРАНСИЗДАТ», 2019. – 384 с.
6. ГОСТ 11677–85 Трансформаторы силовые. Общие технические условия.
7. ГОСТ 14209–85 Трансформаторы силовые масляные общего назначения. Допустимые нагрузки.

8. ГОСТ 14209–97 Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов.

#### Literature

1. Order no.KRAS-51 dated 30.01.2019 "On the organization of traction power supply when handling heavy freight trains, connected freight trains and high-mass trains on the Krasnoyarsk Railway".
2. Marquardt, K. G. Power supply of electrified railways: Textbook for universities railway transp. /K.G. Marquardt. – М.: Transport, 2018 – 528 p.
3. Bondarev, N.A. Contact network: Textbook for universities railway transport / N.A. Bondarev, V.E. Chekulaev. – М.: Route, 2020. – 590 p.
4. Pochaevets, V.S. Electrical substations: Textbook for technical schools and colleges of railway transport /N.A. Pochaevets. – М.: Zheldorizdat, 2020. – 512 p.
5. Power equipment of traction substations of railways (collection of reference materials). / JSC "Russian Railways", branch "Design Bureau for electrification of railways". – М.: "TRANSIZDAT", 2019. – 384 p.
6. GOST 11677-85 Power transformers. General technical conditions.
7. GOST 14209-85 Power transformers by weight

© Шефер Д.Н., Киреев Д.Б., Беспрозванных А.С., Колмаков В.О. 2022  
Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник» №9/2022.

**Для цитирования:** Шефер Д.Н., Киреев Д.Б., Беспрозванных А.С., Колмаков В.О. МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТРАНСФОРМАТОРОВ С ФОРСИРОВАННЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ // Научный сетевой журнал «Столыпинский вестник» №9/2022.