

*Д.А. Сидоров, Н.Г. Филиппенко, П.Д. Муранцев*

*Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАДАЧ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА НАМОТКИ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

**Аннотация.** В данной статье представлен обзор существующих технологий намотки обмоток трансформаторов. Рассмотрены марки и свойства существующих электроизоляционных материалов, применяемых при производстве трансформаторов. Так же был произведён обзор и критический анализ производственной линии наложения изоляции на медные шины и принцип работы ее основных частей.

Проанализированы браковки продукции при намотке изоляции на медный или алюминиевый провод и причины их вызывающие, что позволило определить актуальность проблемы и цель дальнейших исследований, которая заключается в необходимости разработки автоматизированной системы управления, осуществляющей контроль и принятие решений в случае возникновения неисправностей. Авторами для решения поставленной цели, также были определены задачи, которые заключаются в обзоре, существующих систем контроля изоляции, анализе оборудования, как объекта управления для отслеживания обрыва изоляции и разработке, апробации автоматизированного устройства по контролю и сигнализации обрыва изоляции на предприятиях электромеханического профиля.

**Ключевые слова:** изоляция, устройство по контролю и сигнализации, автоматизация, обмотка, обрыв.

*D.A. Sidorov, N.G. Filippenko, P.D. Murantsev*

*Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation*

## **AUTOMATION OF THE PROCESS OF WINDING INSULATION OF TRANSFORMERS TO INCREASE PRODUCTIVITY AND LABOR QUALITY**

**Abstract.** This article provides an overview of existing technologies for winding transformer windings. The grades and properties of existing electrical insulating materials used in the manufacture of transformers are considered. Also, a review and critical analysis of the production line for applying insulation to copper busbars and the principle of operation of its main parts was made.

The article analyzes product rejections when winding insulation on a copper or aluminum wire and their causes, which made it possible to determine the relevance of the problem and the purpose of further research, which is the need to develop an automated control system that monitors and makes decisions in case of malfunctions. To achieve this goal, the authors also defined tasks that consist in reviewing existing insulation monitoring systems, analyzing equipment as a control object for tracking insulation breaks and developing, testing an automated device for monitoring and signaling insulation breaks at enterprises of an electromechanical profile.

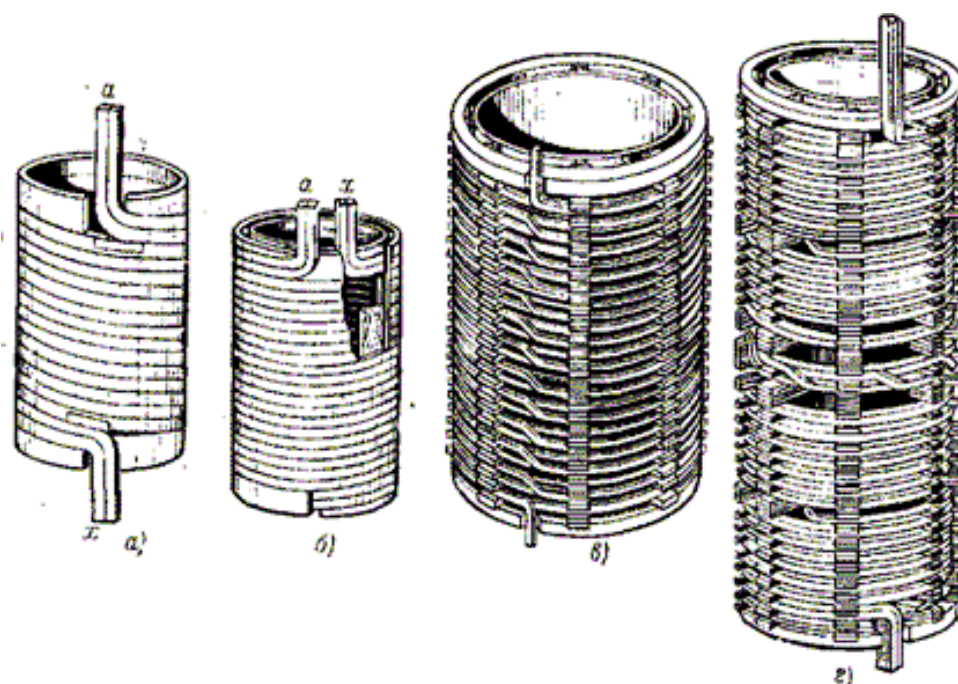
**Keywords:** insulation, control and alarm device, automation, winding, breakage.

### **Введение**

На сегодняшний день электромеханические заводы активно занимаются работами по производству и ремонту силовых, тяговых, преобразующих, импульсных, разделительных, дроссельных и других трансформаторов. Исследования, проведенные на ООО «Ангарск Монтажэнергоремонт», показали, что ряд продукции после ремонта не всегда соответствует заданному качеству. На стадии намотки изоляции на медный или алюминиевый провод возникает вероятность её обрыва, что ведёт к сопутствующим последствиям (снижение сопротивления изоляции, повышенный нагрев, выход из строя трансформатора). Так как на электромеханических заводах используется типовое оборудование для намотки изоляции на медный или алюминиевый провод, можно сделать вывод, что эта проблема актуальна и для других предприятий данного профиля, отрасли и народного хозяйства страны.

### **Обзор технологии намотки, электроизоляционных материалов и линии изолировки медной шины**

На предприятии по производству и ремонту трансформаторов, используются различные типы обмоток, некоторые из которых показаны на рисунке 1.



**Рис. 1. Схемы обмоток трансформатора**

а, б – цилиндрическая двух- и многослойная; в – непрерывная катушечная; г – винтовая одноходовая

Обмотки наматываются вручную или на специальных горизонтальных, вертикальных намоточных станках. Работы по намотке включают как непосредственно намотку из проводникового материала витков обмотки на бакелитовый цилиндр или шаблон-оправку, так и выполнение переходов, транспозиций, петель, регулировочных отводов, установку и присоединение емкостных колес, пайку (или сварку) концов катушек или проводов, изолировку мест пайки, установку деталей изоляции (реек, дистанционных прокладок, шайб, коробок), установку бандажей и ряд других работ [1]. Для всех типов трансформаторов главной особенностью обмоток является надёжная изоляция, медных и алюминиевых проводов.

В трансформаторах изоляция является важнейшим компонентом, поэтому к выбору электроизоляционного материала, стоит подходить ответственно. По результатам исследований на предприятии в основном используются электроматериалы, на основе материалов выполненных из целлюлозы, к которым относятся:

- электроизоляционный картон;
- электроизоляционная бумага и ткань;
- электроизоляционные лаки;

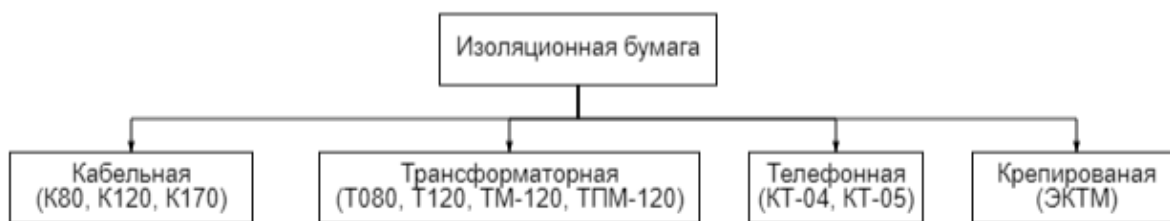
Электроизоляционный картон выпускается марок А, Б, В, Г и определенных толщин, приведенных в таблице 1 [1].

**Таблица 1 – Марки электроизоляционного картона**

Марка картона	А и В	Б	Г
Толщина, мм	2,0; 2,5; 3,0	1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0	0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3,0

Электроизоляционные бумаги применяются в трансформаторах в качестве витковой изоляции обмоточного провода и дополнительной катушечной изоляции в виде лент различной ширины. Важными параметрами изоляционных бумаг являются: диэлектрическая проницаемость, угол диэлектрических потерь, электрическая прочность и стойкость к старению под воздействием температуры [1].

Некоторые виды и марки изоляционной бумаги, приведены на рисунке 2 [2].



**Рис. 2. Блок-схема видов изоляционной бумаги**

Для увеличения электроизоляционных свойств, бумаги и картона используемых при намотке, в некоторых случаях, используется последующая их пропитка лаками или другими полимерными материалами.

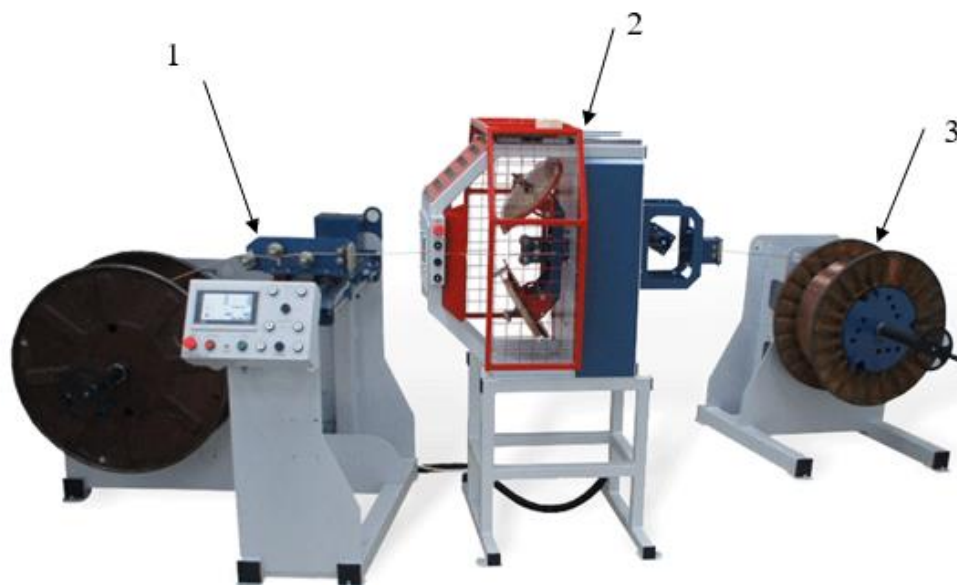
Электроизоляции в зависимости от назначения разделяются на пропиточные, покровные и клеящие [1, 2]. Широкое применение при изготовлении обмоток и изоляции трансформаторов получили следующие лаки: ЛАК-ГФ95 [3], бакелитовый лак [4], МЛ-92 [5].

В период эксплуатации, изоляция трансформатора должна выдерживать определённые механические, электрические, тепловые и физико-химические воздействия. Поэтому к электроизоляционным материалам предъявляют повышенные требования. Тем не менее на предприятиях больший процент брака изделий приходится на неисправности, связанные с неудовлетворительной изоляцией обмоточных проводов и шин.

#### **Анализ причин и неисправностей, возникающих при намотке изоляционной бумаги на промышленных предприятиях**

Намотка изоляции является одной из основных операций, соблюдение и нормирование которой позволяет производить выпуск качественной продукции.

На предприятиях по производству и ремонту электромеханических и преобразующих устройств и трансформаторов, используются различные намоточные станки и линии изолирования, так, например, на предприятии ООО «Ангарск Монтаэнергоремонт», используют линию изолирования медной шины (ЛИМШ-8), представленной на рисунке 3 [6, 7].



**Рис. 3. Линия изолирования медной шины**

где: 1 – механизм намотки ЛИМШ-8; 2 – автоматическая головка обмотки изоляции (АГОИ); 3 – инерционное смоточное устройство (ИСУ-400)

Более детальный анализ конструкции линии и технологии намотки позволил определить наличие ряда недостатков приводящих к производству изделий неудовлетворительного качества.

Инерционное смоточное устройство с ленточной системой торможения. предназначено для смотки с барабана длинномерного материала [6, 7, 8] и передачи его на намоточную готовку.

АГОИ – автоматическая головка обмотки изоляции предназначена для изолировки проводов, трубок круглого и прямоугольного сечения, шин и их пакетов. Головка может устанавливаться как на раскладчики намоточных станков, так и использоваться независимо [6, 9].

Механизм намотки ЛИМШ-8, предназначенный для намотки провода, с раскладкой, на барабан [6, 9, 10] представляет достаточно сложное устройство, работа которого зачастую приводит к проблемам в работе линии. Так при намотке в АГОИ, происходит обрыв бумаги, что ведет к вынужденной остановке и как следствие к снижению производительности технологического процесса. Намотка изоляционной бумаги происходит в два слоя внахлест, при обрыве, если вовремя не остановить технологический процесс, то продолжается намотка на медный или алюминиевый провод, Также несвоевременное обнаружение обрыва изоляционной ленты сказывается на снижении качества обмотки, повышении вероятности ее пробоя и выхода из строя трансформатора.

#### **Заключение**

В результате проведенных исследований и анализа отказов и рекламаций продукции предприятия ООО «Ангарск монтажэнергоремонт» было определено, что с целью исключения сбоев в технологическом процессе намотки и поддержания качества бумажной изоляции, наносимой на медный или алюминиевый провод, необходимы своевременный контроль и соответствующие решения по остановке линии или продолжении ее эксплуатации. Такие мероприятия возможно организовать с вводом в процесс управления автоматизированной системы контроля и управления процесса (АСУ) намотки.

Для достижения поставленной цели также в рамках настоящего исследования были определены следующие задачи:

- провести анализ оборудования, как объекта управления для отслеживания обрыва изоляции;
- организовать подачу оповещающего сигнала оператору об обрыве изоляции;
- разработка и апробация автоматизированной системы управления и сигнализации на производстве.

Разработанная АСУ может быть адаптирована и применяться на любых электромеханических и ремонтных предприятиях данного профиля.

Решение задач является темой дальнейших исследований, результаты которых будут представлены после окончания работ.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Трансформаторы, выпуск 35. Технология и механизация производства обмоток и изоляции силовых трансформаторов/ Герасимова Л. С., Дейнега И. А., Пшеничный Г. И., Чечелюк Я. З.; М.: Энергия, 1979. – 336 с;
2. Справочник по электротехническим материалам. В 3 т. Т. 1/ Под ред. Ю. В. Корицкого, В. В. Пасынкова, Б. М. Тареева - Л.: Энергоатомиздат, 1986, с. 368;
3. ГОСТ 8018-70. Лак электроизоляционный пропиточный ГФ-95. Технические условия – Введ. 1971-01-01. Взамен ГОСТ 8018-56. -М.: Изд. Стандартов, 1994 – 8 с.;

4. Думчев И.С., Ларченко А.Г., Филиппенко Н.Г., Лившиц А.В. Восстановление полиамидных сепараторов подшипников буксового узла подвижного состава ОАО РЖД Молодой ученый. 2012. № 12. С. 48-51.
5. ГОСТ 901-78. Лаки бакелитовые. Технические условия – Введ. 1979-01-01. Взамен ГОСТ 901-71. -М.: ИПК Издательство стандартов, 2003 – 16 с.;
6. Ларченко А.Г., Лившиц А.В., Филиппенко Н.Г., Попов С.И. Устройство диагностики деталей из полиамидных материалов // Патент на полезную модель RU 132209 U1, 10.09.2013. Заявка № 2013115531/28 от 05.04.2013.
7. ГОСТ 15865-70 Лак электроизоляционный МЛ-92. Технические условия. – Введ. 1971-01-01. М.: ИПК Издательство стандартов, 2003 – 15 с.;
8. Мир намоточных станков. Линия изоляции медной шины ЛИМШ-8 ПАСПОРТ [Электронный ресурс]. – Москва 2019. Режим доступа: [www.namotka.com](http://www.namotka.com).
9. Буторин Д.В., Лившиц А.В., Филиппенко Н.Г. Автоматизация процесса контроля фазовых и релаксационных превращений в полимерных материалах // Информационные системы и технологии. 2017. № 1 (99). С. 44-53.
10. Shastin V.I., Livshits A.V., Filippenko N.G. Kargapol'tsev S.K. Laser alloying of wear surfaces with metal components // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. T. 12. № 17. С. 6499-6503.

#### **REFERENCES**

1. Transformers, issue 35. Technology and mechanization of the production of windings and insulation of power transformers / Gerasimova L. S., Deinega I. A., Pshenichny G. I., Chechelyuk Ya. S. ; М.: Energy, 1979. - 336 p.;
2. Handbook of electrical materials. In 3 vols. T. 1 / Ed. Yu. V. Koritsky, V. V. Pasyonkov, B. M. Tareeva - L. : Energoatomizdat, 1986, p. 368;
3. GOST 8018-70. Varnish electroinsulating impregnating GF-95. Specifications - Introduction. 1971-01-01. Instead of GOST 8018-56. -М.: Ed. Standards, 1994 - 8 p.;
4. GOST 901-78. Bakelite varnishes. Specifications - Introduction. 1979-01-01. Instead of GOST 901-71. -М.: ИПК Standards Publishing House, 2003 - 16 p.;
5. GOST 15865-70 Electrical insulating varnish ML-92. Specifications. - Input. 1971-01-01. М.: ИПК Standards Publishing House, 2003 - 15 p.;
6. The world of winding machines. Line insulation of copper bus LIMSH-8 PASSPORT [Electronic resource]. – Moscow 2019. Access mode: [www.namotka.com](http://www.namotka.com).
7. Butorin D.V., Livshits A.V., Filippenko N.G. Automation of the control process of phase and relaxation transformations in polymer materials // Information systems and technologies. 2017. No. 1 (99). pp. 44-53. 11
8. Shastin V.I., Livshits A.V., Filippenko N.G. Kargapol'tsev S.K. Laser alloying of wear surfaces with metal components // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. vol. 12. No. 17. pp. 6499-6503.
9. Larchenko A.G., Livshits A.V., Filippenko N.G., Popov S.I. Device for diagnostics of parts made of polyamide materials // Patent for utility model RU 132209 U1, 09/10/2013. Application no. 2013115531/28 dated 05.04.2013.
10. Dumchev I.S., Larchenko A.G., Filippenko N.G., Livshits A.V. Restoration of polyamide separators of bearings of the axle box assembly of rolling stock of JSC Russian Railways Young scientist. 2012. No. 12. pp. 48-51.

#### **Информация об авторах**

*Сидоров Дмитрий Андреевич* – студент, кафедры «Автоматизация производственных процессов» Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: [hardpower@gmail.com](mailto:hardpower@gmail.com)

*Филиппенко Николай Григорьевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация производственных процессов», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: ifpi@mail.ru

*Муранцев Павел Дмитриевич* – студент, кафедры «Автоматизация производственных процессов» Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: Pavel.mur9@mail.ru

#### **Information about the authors**

*Sidorov Dmitry Andreevich* - student, department "Automation of production processes" Irkutsk State University of Railways, Irkutsk, e-mail: xardpower@gmail.com

*Filippenko Nikolay Griorievich* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Automation of Production Processes", Irkutsk state University of Railways, Irkutsk, e-mail: ifpi@mail.ru

*Murantsev Pavel Dmitrievich* - student, department "Automation of production processes" Irkutsk State University of Railways, Irkutsk, e-mail: Pavel.mur9@mail.ru