

изобутанола, который возможно повторно использовать при следующей варке.

**Ключевые слова:** целлюлоза, пшеничная солома, изобутиловый спирт, гидразин, ядерный магнитный резонанс.

*Барбаш Валерій Анатолійович, кандидат хімічних наук, доцент, кафедра екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: v.barbash@kpi.ua.*

*Яценко Ольга Василівна, аспірант, кафедра екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: voliav@ukr.net.*

*Барбаш Валерій Анатольевич, кандидат химических наук, доцент, кафедра экологии и технологии растительных полимеров, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.*

*Яценко Ольга Васильевна, аспирант, кафедра экологии и технологии растительных полимеров, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.*

*Barbash Valery, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: v.barbash@kpi.ua.*

*Yashchenko Olha, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: voliav@ukr.net*

УДК 676.035

DOI: 10.15587/2312-8372.2014.32230

Демишок Т. І.,  
Антоненко Л. П.

## РОЗРОБКА СИНТЕТИЧНОГО ЕЛЕКТРОІЗОЛЯЦІЙНОГО ПАПЕРУ

Представлено аналіз сучасних підвищених вимог до властивостей паперів, що використовують-ся для електроізоляції. Серед них виділено ряд основних, таких як термостійкість, електрична міцність, гігроскопічність, тангенс кута діелектричних втрат. Розроблено композицію паперу, яка забезпечує отримання електроізоляційного синтетичного паперу з низькою гігроскопічністю та низьким тангенсом діелектричних втрат.

**Ключові слова:** синтетичний електроізоляційний папір, руйнівне зусилля, електрична міцність, тангенс кута діелектричних втрат.

### 1. Вступ

Розвиток електротехнічної галузі вимагає відповідної розробки нових ізоляційних матеріалів. Целюлозний папір як електроізоляційний матеріал дуже широко використовується і має суттєві переваги (відносно невисоку вартість, досить високі показники механічної міцності, гнучкість, можливість отримання електроізоляційних матеріалів достатньо малої товщини (до 4 мкм) і головне, можливість отримання на його основі ізоляції з високими електричними характеристиками, які досягаються в результаті просочування паперу). Але крім цього існує ряд недоліків електроізоляційних матеріалів з целюлози, а саме: гігроскопічність [1], порівняно невисока термостійкість і високі електричні втрати під час використання в кабелях високої напруги [2]. Погана теплопровідність і відносно низька термостійкість обмежують можливість підвищення робочої температури електрообладнання [1].

Виходячи з вище викладеного створення електроізоляційного паперу з низькою гігроскопічністю та низьким тангенсом діелектричних втрат для зменшення втрат під час передавання електроенергії є нині дуже актуальним.

### 2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Гігроскопічність целюлозного паперу визначається як наявність полярних гідроксильних груп, що мають спорідненість з полярними молекулами води, так і капілярним характером структури матеріалу і становить 7 % за відносної вологості повітря 50 % [1].

Під час виготовлення композиційних матеріалів їх пористість може досягати 10–20 %. У разі використання природних і синтетичних органічних волокон, завдяки значно меншій кількості пор і тріщин, пористість не перевищує 1–2 % [3]. Наявність пор може сприяти проникненню вологи в електроізоляційні частини електрообладнання. Навіть термовакуумне просочування епоксидним компаундом не усуває повністю гігроскопічність паперу [4].

З метою збільшення стійкості твердої ізоляції до дії вологи використовують синтетичний папір, який має гарну гідрофобність і може легко просочуватися електроізоляційним компаундом замість целюлозного крепованого паперу, який має високу гідрофільність [5].

Тенденція до підвищення напруги під час передачі електроенергії висуває вимоги до ізоляції, яким не завжди може відповідати папір з сульфатної целюлози, просоченої оливою. Ізоляція з целюлозних паперів має в початковому стані тангенс діелектричних втрат ( $\tan \delta$ ) 0,0025. При цьому діелектричні втрати кабелів на напругу 500 кВ можуть досягати 200 % втрат в жилі і більше [5]. Одним з найбільш перспективних напрямків розробки нових типів ізоляції для високовольних кабелів є розроблення нових видів паперів з синтетичних волокон [2, 5], таких як поліпропіленових, поліетиленових, полістирольних, арамідних та ін.) [6].

Серед синтетичних волокон поліефірні волокна мають ряд істотних переваг у разі використання як електроізоляційного матеріалу. Це низька гігроскопічність, а саме за відносної вологості повітря 65 % вона становить 0,4 %. Також за стійкістю до підвищених температур

Таблиця 1

Показники синтетичного електроізоляційного паперу

Показники	1 варіант	2 варіант	Метод тестування
Маса паперу площею 1 м <sup>2</sup> , г	76,7	71,1	ISO 536
Щільність, г/см <sup>3</sup>	0,38	0,65	ISO 534
Руйнівне зусилля, Н	14,9	26	ISO 1924-1
Електрична міцність, кВ/мм	5,6	7,2	IEC 60554-2
Тангенс кута діелектричних втрат	< 0,0001	0,0438	IEC 60554-2

це волокно перевершує всі природні і більшість хімічних волокон, крім термостійких [7].

Поліетиленові волокна завдяки високим діелектричним властивостям з успіхом використовуються в високо-частотних установках. Величина тангенса кута діелектричних втрат поліетилену, як неполярного діелектрика, вельми мала ( $1-3 \cdot 10^{-4}$ ) і незначно змінюється залежно від частоти і температури. Завдяки малому водопоглинанню (0,01 % за відносної вологості 95 %) поліетилен зберігає високі електроізоляційні властивості в умовах високої відносної вологості навколишнього середовища [8].

Поліпропіленові стереорегулярні волокна мають гарну міцність та температуру розм'якшення 158–170 °С, є хорошими ізоляторами і не поглинають вологу. Діелектричні властивості поліпропілену не нижчі ніж поліетилену і не змінюються в широкому діапазоні частот [8].

Таким чином можна зробити висновок, що поліетіленові волокна має низку переваг, а саме кращу термостійкість і тому було використано як основу в створеному матеріалі.

Одним із можливих варіантів зв'язувального є волокнисті полімерні зв'язувальні речовини у вигляді легкоплавких волокон на основі поліпропілену та поліетилену, масова частка яких в композиції може коливатися в широких межах (від 5 до 75 %) залежно від призначення одержуваного паперу [9].

Іншим варіантом зв'язувального можуть бути поліетиленові фібриди. Це невеликі волокна довжиною до декількох міліметрів, що сильно орієнтовані і мають морфологію подібну целюлозним волокнам. Завдяки їх целюлозоподібній морфології, гідрофілізовані фібриди поліетилену мають високу адсорбційну здатність і здатність до утворення водневих зв'язків [10].

Мета статті — розробити композицію електроізоляційного паперу з низкою гігроскопічністю та низьким тангенсом діелектричних втрат із синтетичних волокон.

Для досягнення поставленої мети необхідно:

1. Встановити, яке зв'язувальне доцільніше використовувати у виробництві синтетичного електроізоляційного паперу.

2. Проаналізувати можливості виробництва електроізоляційного паперу з синтетичних волокон на папероробній машині.

### 3. Результати досліджень показників електроізоляційного синтетичного паперу

Метою роботи було отримати електроізоляційний синтетичний папір з низькою гігроскопічністю, низьким тангенсом кута діелектричних втрат, задовільною міцністю і високою повітропроникністю. Для цього було виготовлено лабораторні зразки 100 % синтетичного паперу з використанням в композиції поліетіленових волокон як основних. Як зв'язувальне за варіантом 1 використали поліпропіленове волокно. За варіантом 2 як зв'язувальне використовували поліетиленові фібриди. Показники синтетичного електроізоляційного паперу наведено в табл. 1.

Як видно з табл. 1 за варіантом 1 отримано синтетичний папір з дуже низьким тангенсом діелектричних втрат і низькою гігроскопічністю (0,45 % за відносної вологості повітря 50 %).

Використання як зв'язувального легкоплавких волокон на основі поліпропілену викликає ускладнення під час проходження полотна через папероробну машину. Для можливості виготовлення такого паперу необхідна деяка модернізація, а саме установка додаткових вакуум-пересмоктувальних пристроїв і сукон, за допомогою яких можна транспортувати папір [9]. Тому були проведені дослідження з використанням як зв'язувального поліетиленових фібридів. Гігроскопічність отриманих зразків 0,2 % (за відносної вологості повітря 50 %).

### 4. Висновки

У результаті проведених досліджень:

1. Встановлено, що як зв'язувальне у виробництві електроізоляційного паперу з синтетичних волокон доцільніше використовувати поліпропіленове волокно.

2. Показано, що отриманий папір має низький тангенс діелектричних втрат, що дозволяє використовувати його для ізоляції в кабелях високої напруги та зменшити втрати під час передавання електроенергії.

3. Зроблено припущення, що для виробництва електроізоляційного паперу з синтетичних волокон на папероробній машині необхідно встановити додаткові вакуум-пересмоктувальні пристрої та сукна для транспортування паперу.

### Література

1. Фляте, Д. М. Технология бумаги [Текст] / Д. М. Фляте. — М.: Лесн. промышленность, 1988. — 440 с.
2. Канискин, В. А. Эксплуатация силовых электрических кабелей [Текст]. Ч. 1. Конструкции силовых электрических кабелей / В. А. Канискин, А. И. Таджикиев. — Санкт-Петербург: ПЭИПК, 2001. — 61 с.
3. Тростянецкая, Е. Б. Пластики конструкционного назначения (реактопласты) [Текст] / под ред. Е. Б. Тростянецкая. — М.: Химия, 1974. — 304 с.
4. Славинский, А. З. Физика диэлектриков [Текст]. Т. 1: Высоковольтная изоляция энергетической аппаратуры / А. З. Славинский. — М.: Научтехлитиздат, 2007. — 327 с.
5. Славинский, А. З. Высоковольтные вводы для масляных выключателей с RIN-изоляцией [Текст] / А. З. Славинский, М. Б. Верещагин, С. Д. Кассихин, К. Г. Сипилкин // Электроэнергетика: сегодня и завтра. — 2010. — № 1. — С. 5.
6. Фляте, Д. М. Свойства бумаги [Текст] / Д. М. Фляте. — М.: Лесн. промышленность, 1986. — 680 с.
7. Роговин, З. А. Основы химии и технологии химических волокон [Текст] / З. А. Роговин. — М.: Химия, 1974. — Т. 2. — 344 с.
8. Гутман, Б. Б. Бумага из синтетических волокон [Текст] / Б. Б. Гутман, Л. Н. Янченко, Л. И. Гуревич. — М.: Лес. промышленность, 1971. — 184 с.

9. Фролов, М. В. Структурная механика бумаги [Текст] / М. В. Фролов. — М.: Лесн. промышленность, 1982. — 272 с.
10. Gordon, W. Polyethylene Fibrids: Preparation and Properties [Text] / W. Gordon, H. J. Leugering, H. Cherdron // Angewandte Chemie International Edition in English. — 1978. — Vol. 17, № 11. — P. 820–825. doi:10.1002/anie.197808201

#### РАЗРАБОТКА СИНТЕТИЧЕСКОЙ ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННОЙ БУМАГИ

Представлен анализ современных повышенных требований к свойствам бумаг, применяемых для электроизоляции. Среди них отмечено ряд основных, таких как термостойкость, электрическая прочность, гигроскопичность, тангенс угла диэлектрических потерь. Разработана композиция бумаги, которая обеспечивает получение электроизоляционной синтетической бумаги с низкой гигроскопичностью и низким тангенсом диэлектрических потерь.

**Ключевые слова:** синтетическая электроизоляционная бумага, разрушающее усилие, электрическая прочность, тангенс угла диэлектрических потерь.

*Демешок Тетяна Іванівна, аспірант, кафедра екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: tetyana-demysbok@yandex.ru.*

*Антоненко Людмила Петрівна, кандидат хімічних наук, доцент, кафедра екології та технології рослинних полімерів, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Україна, e-mail: alp56@ukr.net.*

*Демешок Татьяна Ивановна, аспирант, кафедра экологии и технологии растительных полимеров, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.*

*Антоненко Людмила Петровна, кандидат химических наук, доцент, кафедра экологии и технологии растительных полимеров, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», Украина.*

*Demysbok Tetiana, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: tetyana-demysbok@yandex.ru.*

*Antonenko Lyudmila, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Ukraine, e-mail: alp56@ukr.net*