

## **ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ВВОДЫ ДЛЯ МАСЛЯНЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ С RIN-ИЗОЛЯЦИЕЙ**

**Славинский А.З. – доктор технических наук**

**Верещагин М.Б., Кассихин С.Д., Сипилкин К.Г. - инженеры**

**ООО "МАССА", Россия ([www.mosizolyator.ru](http://www.mosizolyator.ru))**



**Рисунок 1 – Высоковольтный ввод с RIN-изоляцией**

**Ключевые слова:** высоковольтные вводы, твердая RIN-изоляция, водоотталкивающий материал.

**Реферат:** В статье представлен новый вид высоковольтных вводов с RIN-изоляцией (Resin Impregnated Nonwoven) для масляных выключателей и силовых трансформаторов, показанный на Рисунке 1. Вводы имеют твердый остов, который изготавливают как по технологии RIP-изоляции, вместо крепированной бумаги (Paper) в качестве основы для пропитки используют полимерный нетканый материал (Nonwoven). Новые вводы отличаются высокими электроизоляционными, механическими и водоотталкивающими свойствами.

## I. ВВЕДЕНИЕ

В энергосистемах продолжает эксплуатироваться большое количество масляных выключателей (МВ) на 35, 110 и 220 кВ. Аварийность МВ, связанная с повреждаемостью вводов, выше, чем у силовых трансформаторов. Это является следствием увлажнения твердой изоляции вводов при неправильном хранении и эксплуатации. В МВ применяют вводы с твердой изоляцией типа RBP (Resin Bonded Paper) – бумаги склеенной смолой, с 2004г. типа RIP (Resin Impregnated Paper) – бумаги, пропитанной смолой. Самая современная твердая RIP-изоляция, тоже подвержена воздействию влаги, хотя и в меньшей степени, чем RBP-изоляция [1]. Даже термовакуумная пропитка эпоксидным компаундом не устраняет полностью гигроскопичность бумаги. Молекулы компонентов компаунда имеют большие размеры по сравнению с размерами молекул воды и не в состоянии создать полную непроницаемость для влаги, так как в наиболее мелкие поры бумаги они не могут проникнуть. Субмикropоры между молекулами целлюлозы ~ 10 Å, макропоры ~ 25 ÷ 40 Å, молекулы воды ~ 2,5 Å, а размеры молекул компонентов эпоксидного компаунда ~ 30 ÷ 50 Å [1].

Основными причинами потери изоляционных свойств у вводов являются особенности конструкции МВ, когда поверхность нижней части ввода не полностью закрывается маслом и находится в атмосфере влажного воздуха, и условия эксплуатации, при которых баки МВ негерметичны, в масле высокое содержание воды. Другой причиной высокой аварийности является несоблюдение условий хранения вводов, предписанные производителем. Часть ввода, которая во время эксплуатации должна находиться вне бака МВ под воздействием факторов окружающей среды, имеет необходимую защиту в виде внешней изоляции из фарфора или силикона. Нижняя часть, которая после установки находится внутри бака МВ, такой защиты не имеет. Поэтому для транспортировки и хранения вводов используют водонепроницаемую упаковку, внутрь помещают осушающий материал. Однако, после поступления на склад потребитель обязан проводить приемочные испытания, после которых ввод необходимо опять тщательно упаковать, для защиты от влаги. Последнее условие выполняется не всегда, в этом случае влага воздуха может проникать в основную изоляцию (Рисунок 2). Это всегда сопровождается ростом тангенса угла диэлектрических потерь, уровня частичных разрядов, при длительном воздействии влаги наблюдаются видимые следы коррозии, проявляющиеся в изменении цвета изоляции, появлении трещин и пузырей [2].

## 2. ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА НОВЫХ ВВОДОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИМЕРНОГО НЕТКАНОГО МАТЕРИАЛА

### 2.1 Изготовление изоляции.

С целью увеличения стойкости твердой изоляции к действию влаги и тяжелых условий эксплуатации вводов на МВ, решили заменить крепированную бумагу, которая обладает высокой гидрофильностью. Для изготовления новой изоляции типа RIN мы использовали полимерный нетканый материал, который обладает хорошими водоотталкивающими свойствами и может легко пропитываться электроизоляционным компаундом. Такие нетканые материалы во всем мире используют для производства высококачественных легких композитных изделий. В Таблице 1 приводятся основные показатели крепированной бумаги и полимерного нетканого материала.

Технология изготовления RIN-изоляции практически полностью повторяет процесс производства RIP-изоляции. На первом этапе производят намотку нетканого материала на токоведущую трубу или стержень с закладкой уравнивающих обкладок для контроля электрического поля (Рисунок 3). Уравнивающие обкладки изготавливают из электропроводящего материала, который уже успешно используют на заводе «Изолятор» при производстве OIP и RIP-изоляции для реакторных вводов вместо алюминиевой фольги. Данный электропроводящий материал легко пропитывается эпоксидным компаундом, это приводит к

образованию монолитной структуры композитной RIP-изоляции с прочной связью изоляция-обкладка-изоляция [3,4].



Рисунок 2 – Поврежденная водой поверхность ввода с RIP-изоляцией.



Рисунок 3 – Намотка RIN-изоляции полимерным нетканым полотном с обкладками из электропроводящего материала

Таблица 1 – Показатели материалов на основании данных производителей и результатов лабораторных исследований.

Показатель	Крепированная бумага	Нетканый материал
Зольность, %	< 1	< 1
Остаточная влажность, %	6 - 9	< 0,1
Прочность на разрыв, Н	> 50	> 80
Относительное удлинение, %:		
-продольное направление,	90 - 110	< 39
-поперечное направление	3,0 - 3,0	< 35

В отличие от крепированной бумаги, которая имеет рельефную поверхность, полимерный нетканый материал гладкий, что определяет правильное концентрическое расположение обкладок внутри изоляции в процессе намотки и после отверждения (Рисунок 4). При этом достигается более однородное распределение электрического поля внутри RIN-изоляции, надежность ее повышается.

Из Таблицы 1 следует, что полимерный нетканый материал имеет преимущество над крепированной бумагой, он является гидрофобным, не содержит воды. Это позволяет не только сократить технологический процесс изготовления и поставки любого типа вводов заказчику. Отказ от проведения такой сложной технологической операции как термовакуумная сушка позволяет существенно повысить надежность нового типа изоляции. Остаточная влага после сушки намотанных изоляций является причиной скрытых дефектов. Вода в порах крепированной бумаги может вызвать очень сильный экзотермический эффект реакции отверждения эпоксидного компаунда, а в процессе эксплуатации при низких температурах закристаллизоваться. Все это увеличивает вероятность образования микротрещин внутри RIP-изоляции и разрушения во время эксплуатации [1].

Таким образом, сразу после намотки проводят термовакуумную пропитку эпоксидным компаундом и отверждение как при изготовлении RIP-изоляции.

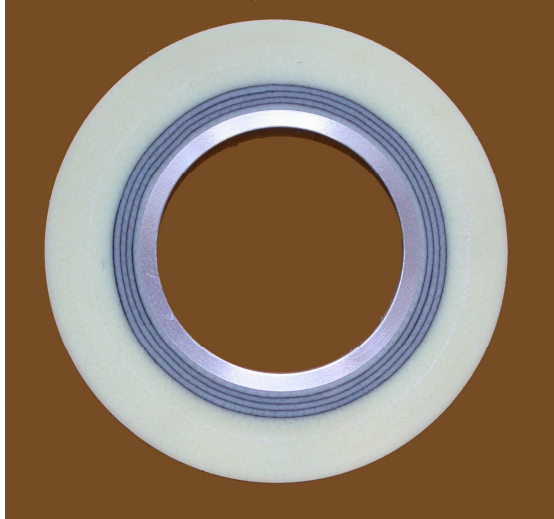


Рисунок 4 – Правильное concentрическое расположение обкладок на срезе RIN-изоляции



Рисунок 5 – Фрагмент собранного ввода с основной RIN-изоляцией и внешней силиконовой изоляцией

## 2.2 Производство вводов.

После получения требуемой геометрической формы RIN-изоляции при токарной обработке производят сборку ввода нового типа. Завод изолятор серийно выпускает вводы с внешней фарфоровой и силиконовой изоляцией. По требованию потребителей вводы с фарфоровыми крышками могут заполняться маслом, изоляционным газом или сухим наполнителем.

Завод «Изолятор» одним из первых в мире получил патенты на изготовление вводов с внешней силиконовой изоляцией, которая отливается непосредственно на поверхность основной твердой изоляции ввода [5,6]. Отсутствие клеевых соединений, наполнителя и уплотнений в таких вводах полностью исключает проникновение влаги и агрессивных веществ из атмосферы и повреждение твердой изоляции. Силиконовая изоляция обеспечивает надежную работу ввода, исключает необходимость их обслуживания, т.е. периодическую очистку внешней изоляции.

Силиконовая резина, как было доказано, имеет прекрасную адгезию не только к RIP, но и к RIN-изоляции. При проверке прочности на отрыв каждый раз происходил когезионный разрыв материала.

Высоковольтным испытаниям подвергали новые вводы именно с силиконовой внешней изоляцией.

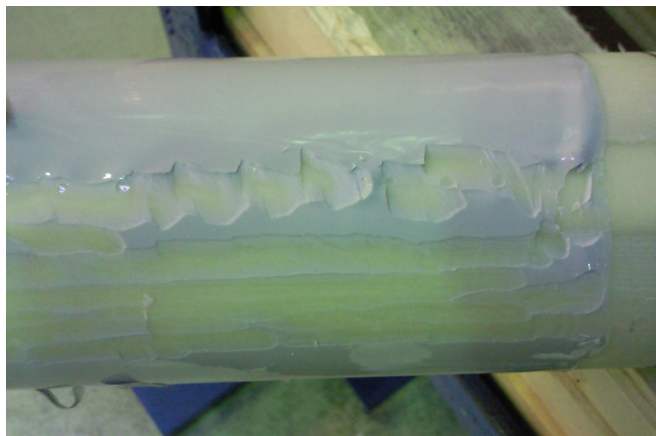


Рисунок 6 – Когезионный отрыв при качественной проверке адгезии RTV-2 силиконовой резины к поверхности RIN-изоляции.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Таблица 2 – Результаты высоковольтных испытаний ввода с RIN-изоляцией 72,5 кВ (Т = 20-23 °С).

№	Показатели	tan δ, %	Частичные разряды, пКл	C <sub>1</sub> , пФ
	Вводы с RIP-изоляцией: -требования IEC 60137 при U <sub>н.р.</sub> -типовые значения при U <sub>н.р.</sub>	< 0,7 0,3-0,5	< 10 < 10	- -
	Вводы с RBP-изоляцией: -требования IEC 60137 при U <sub>н.р.</sub> -типовые значения при U <sub>н.р.</sub>	< 1.5 0.5-0.6	< 300 < 250	- -
	Вводы с OIP-изоляцией: -требования IEC 60137 при U <sub>н.р.</sub> -типовые значения при U <sub>н.р.</sub>	< 0,7 0,2-0,4	< 10 < 10	- -
Результаты испытаний:				
1.	U = 72,5 кВ	0,22	< 5	162
2.	U <sub>исп.</sub> = 95 кВ 1 минуту - выдержал	-	< 5	-
3.	U <sub>исп.</sub> = 140 кВ 1 минуту - выдержал	-	< 5	-
4.	После испытания при U = 72,5 кВ	0,22	< 5	162
5.	После прогрева ввода при T = 110 °С 16 часов	0,21	< 5	162
6.	15 полных импульсов положительной полярности U=+325 кВ выдержал			
7.	1 полный импульс отрицательной полярности U=-325 кВ выдержал			
8.	5 срезанных импульсов U=-374 кВ выдержал			
9.	14 полных импульсов отрицательной полярности U=-325 кВ выдержал			
10.	U = 72,5 кВ	0,22	< 5	162
11.	U <sub>исп.</sub> = 140 кВ 1 минуту - выдержал	-	< 5	-
12.	U = 72,5 кВ	0,22	< 5	162
13.	U <sub>исп.</sub> = 2,5 U <sub>н.р.ф.</sub> = 107 кВ 60 мин – выдержал			
14.	U = 72,5 кВ	0,23	< 5	162

Представленные в Таблице 2 результаты высоковольтных испытаний в соответствии с IEC 60137 показывают, что RIN-изоляция имеет низкие диэлектрические потери и уровень частичных разрядов. Ввод выдержал все испытания без пробоя изоляции и изменения электрических характеристик.

В настоящее время проходят испытания опытные вводы с RIN-изоляцией на 110 и 220 кВ, в том числе и специальные испытания, отражающие эксплуатационные воздействия, первые результаты электрических испытаний представлены в Таблице 3.

Таблица 3 – Результаты высоковольтных испытаний ввода с RIN-изоляцией 220 кВ (Т = 20-23 °С)

Показатели	tan δ, %	Частичные разряды, пКл	C <sub>1</sub> , пФ
U = 252 кВ	0,25	< 5	708
U <sub>исп.</sub> = 460 кВ 1 минуту - выдержал	-	< 5	-
U = 252 кВ	0,25	< 5	708

#### 4.ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

##### 1. Основные преимущества вводов с RIN-изоляцией:

- высокая гидрофобность поверхности изоляции, стойкость к атмосферному воздействию,
- малые размеры, низкая масса,
- высокие электрические характеристики, полностью отвечающие требованиям мировых стандартов IEC,
- лучшее распределение электрического поля в изоляции,
- сокращение технологического процесса, сокращение сроков изготовления,
- конкурентная цена.

##### 2. Вводы с RIN-изоляцией и внешней силиконовой изоляцией имеют дополнительные преимущества:

- без масла, без фарфора, пожаро- и взрывобезопасные,
- не требуют обслуживания в эксплуатации.

##### 3. Высокие показатели качества вводов с RIN-изоляцией на основе полимерного нетканого полотна определяют возможность изготовления вводов с таким типом изоляции на напряжения до 500 кВ и выше для силовых трансформаторов.

##### 4. Подана заявка на патент.

##### 5. Планируется начать серийный выпуск нового типа вводов с с RIN-изоляцией на основе полимерного нетканого материала уже в 2010 г.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

[1] А.З. Славинский Физика диэлектриков. Высоковольтная изоляция энергетической аппаратуры. – М.: ООО Издательство «Научтехлитиздат», 2007.

[2] NEW DIAGNOSTIC TOOLS FOR HIGH VOLTAGE BUSHINGS. Proceedings of the 16th International Symposium on High Voltage Engineering, 2009 SAIEE, Innes House, Johannesburg.

[3] Разработка высоковольтных вводов с RIP-изоляцией для передачи постоянного тока высокого напряжения. - IV МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, «Силовые трансформаторы и системы диагностики», 2009

[4] Кратковременная электрическая прочность твердой RIP-изоляции высоковольтных вводов конденсаторного типа. Влияние толщины слоя конденсаторной изоляции на электрическую прочность. – IX Симпозиум «Электротехника 2030», 2007.

[5] Заявка 2002112067.

[6] Заявка 2002112629.