

ОПЫТ РЕМОНТА ВВОДОВ 110—750 кВ

Рыженко В.И., Соколов В.В., Славянский А.З., Черноготский В.М., кандидаты техн. наук

НПП Электротехремонт (Запорожье) - НИЦ "ЗТЗ-Сервис" — АО "Мосизолятор" - АО ВИТ

В трансформаторном оборудовании классов напряжения 110 — 750 кВ используются герметичные маслонаполненные вводы с бумажно-масляной изоляцией конденсаторного типа (далее "изоляция"). До последнего времени на указанное оборудование устанавливались исключительно вводы завода "Мосизолятор".

Данная работа базируется на анализе опыта эксплуатации более 2000 вводов на энергопредприятиях Украины, а также опыта ремонта около 500 вводов классов напряжения 110—750 кВ.

Анализ аварийности силовых трансформаторов и реакторов за последние 10 лет показывает, что примерно в 40% случаев причиной аварий является повреждение герметичных вводов 110-750 кВ завода "Мосизолятор". Следует отметить, что повреждаются вводы, залитые маслом марки Т-750 (ГОСТ 982-80), выпущенные до начала 1985 г. С середины 1986 г. выпускались вводы, залитые маслом марки ГК (ТУ 38.101.025-85). В промежутке между указанными сроками вводы заполнялись смесью этих масел.

Как следует из [1, 2], причиной низкой эксплуатационной надежности вводов с маслом марки Т-750 является ускоренное старение этого масла вследствие его низкой термоокислительной стабильности и образование осадка из продуктов разложения масла.

При разборке вводов 110 — 750 кВ в процессе их ремонта было установлено, что для вводов с маслом Т-750 характерно наличие осадка на внутренней поверхности нижних фарфоровых покрышек и наружной поверхности изоляции; некоторые вводы имели незавершенные следы поверхностных разрядов.

Во вводах с маслом марки ГК аналогичного осадка и поверхностных разрядов не было.

Разборка вводов с обеими марками масел, как в процессе расследования аварий, так и при ремонтах показала, что повреждение изоляции в толще не наблюдается, т.е. вводы являются ремонтпригодными. При своевременной отбраковке в эксплуатации их изоляция при ремонтах может быть восстановлена до соответствующих требованиям ГОСТ 10693-81 состояния без перемотки.

Для ремонтных вводов с маслом марки Т-750 проанализирована выборка из 100 вводов 110-750 кВ. Все указанные вводы имели осадок разной интенсивности на поверхности фарфора и изоляции. В восьми вводах 110 – 220 кВ и в трех реакторных вводах 750 кВ на внутренней поверхности нижних фарфоровых покрышек выявлено наличие незавершенных следов разрядов, еще в восьми вводах 110 - 220 кВ и в двух вводах 330 кВ обнаружены следы разрядов, как на внутренней поверхности нижних покрышек, так и на поверхности изоляции (1—2 наружных слоя бумаги), т.е. вероятность полного пробоя перечисленных вводов весьма высока.

При изучении опыта эксплуатации было установлено, что значительная часть вводов 110—220 кВ независимо от марки масла имеет повышенное содержание воздуха, а вводы с маслом марки ГК, кроме того, имеют повышенные концентрации других растворенных газов, в основном водорода.

С целью выяснения причин высокого газосодержания был проведен анализ качества технологической обработки изоляции вводов и результатов электрических испытаний вводов на заводе-изготовителе. Установлено, что причиной высокого газосодержания масла во вводах является неполное извлечение воздушных включений из изоляции в процессе вакуумной обработки. Воздушные включения являются источниками частичных разрядов (ЧР), возникающих при электрических испытаниях. Поскольку масло марки ГК является газовыделяющим, то образовавшиеся в результате ЧР газы (в основном водород, метан и др.) в

течение длительного времени выделяются в масло ввода. По данным завода-изготовителя этот период составляет от 1 года до 2 лет. Наиболее интенсивно выделение газов из изоляции (и соответственно ее допропитка) происходит в течение первых 2 мес. Повышенное содержание водорода в данном случае не является признаком наличия необратимого дефекта.

Для примера в табл. 1 для вводов 110 кВ указана зависимость уровня ЧР от наличия оставшегося воздуха. Результаты измерения количества воздуха указаны для проб, отбираемых в течение 1—2 мес. В табл. 1 приведена также концентрация выделившегося в масло водорода в течение того же времени. Наличие водорода обусловлено его образованием в процессе возникновения ЧР при электрических испытаниях.

Таблица 1

Зависимость общего газосодержания (ОГС) и содержания водорода (H₂) от времени отбора масла на вводы 110 кВ

Уровень ЧР, пКл	Растворенные газы	Время отбора масла после электрических испытаний, сут.							
		1	3	10	15	20	30	40	60
150 (100)	ОГС H ₂	1,25	1,45	2,30	2,60	3,0	2,5	4,0	3,5
		Отсутствует		0,0025	0,0030	0,0047	0,0060	0,0110	0,0120
25 (15)	ОГС H ₂	0,60	0,60	1,00	1,25	1,50	1,25	-	-
		Отсутствует						-	-
8 (1,0)	ОГС H ₂	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	-	-
		Отсутствует						-	-

Примечания: 1. В скобках указано остаточное давление в миллиметрах ртутного столба по данным специальных опытов, проведенных СКБ завода "Мосизолятор" с целью определения влияния качества вакуумной обработки вводов на уровень ЧР.

2. Содержание H₂ и ОГС указано в процентах.

В международной практике одним из основных видов контроля качества технологической обработки внутренней изоляции вводов является измерение уровня ЧР при испытаниях напряжением промышленной частоты, превышающим значение наибольшего рабочего напряжения в 1,5 раза. При этом для разных фирм допустимый уровень ЧР составляет от 1 до 10 пКл.

На заводе "Мосизолятор" до 1990 г. в соответствии с ГОСТ 10693-81 измерение ЧР производилось при напряжении 1,1 U_{н.р.}. Допустимый уровень ЧР в соответствии с этим документом составлял 10 пКл, но это значение не являлось браковочным, а измерение ЧР производилось для накопления опыта.

Контроль изоляции вводов на заводе "Мосизолятор" с 01/1 1990 г. осуществлялся в соответствии с международными требованиями, а именно, допустимый уровень ЧР равен 10 пКл при напряжении, составляющем 1,5 U_{н.р.}.

На стадии внедрения этих нормативов более чем у 50% вводов были превышены нормированные значения величины кажущегося заряда.

Ввиду того, что для основного объема вводов всех классов напряжения, выпускаемых заводом "Мосизолятор" до 1990 г., при электрических испытаниях уровень ЧР не измерялся, вероятность наличия повышенного содержания воздуха и водорода в масле этих вводов велика.

В настоящее время отбраковка вводов по повышенному уровню ЧР на стадии электрических испытаний не может быть произведена в полном объеме, поскольку регистрация ЧР в соответствии с требованиями государственного стандарта для наиболее

массовых вводов 110 — 220 кВ производится для 20% вводов от партии, а определение газосодержания масла — для 10% вводов, т.е. во вводах 110 — 220 кВ, изготовленных после 1990 г., также существует вероятность высокого содержания воздуха и водорода.

Это подтверждается опытом эксплуатации и ремонта вводов.

В эксплуатации вводы, залитые маслом марки Т-750, бракуются из-за превышения значений нормированных характеристик изоляции и в редких случаях, когда ввод находится в предаварийном состоянии, из-за повышенной концентрации растворенных газов. Вводы, залитые маслом марки ГК, бракуются в эксплуатации, как правило, из-за повышенного содержания газов.

На базе накопленного опыта ремонта вводов определен общий подход к объему и технологии ремонта вводов в зависимости от марки залитого во вводы масла и причины их отбраковки [3].

Так, все ремонтные вводы, залитые маслом марки Т-750, подвергаются полной разборке с целью последующей механической очистки внутренней поверхности фарфоровых крышек и опорных цилиндров от продуктов разложения масла, а также снятия слоев бумаги с поверхности изоляции.

Важной операцией перед разборкой ввода является извлечение остатков масла марки Т-750 из изоляции после слива масла из ввода. Остатки масла извлекаются путем длительной вакуумировки с периодическим сбросом вакуума для слива масла из нижней сливной пробки ввода. Продолжительность и периодичность этих операций устанавливается в зависимости от типа ввода. Необходимость слива остатков масла обусловлена тем, что масло марки Т-750 имеет низкую термоокислительную стабильность. Вводы после ремонта заливаются высокостабильным маслом марки ГК, а по условиям обеспечения необходимой стабильности доля масла марки Т-750 в общем объеме залитого во ввод масла не должна превышать 20%.

После разборки вводы, у которых значения тангенса угла диэлектрических потерь ($\tan \delta$) изоляции превышают нормированные по [4], подвергаются вакуумной сушке, остальные поступают на сборку.

При сборке вводов производится замена уплотняющих прокладок, изоляции, специального и (или) измерительного вывода, замена поврежденных сильфонов, крепежных деталей и устранение других дефектов.

После сборки производится вакуумная обработка ввода в течение 1—4 ч в зависимости от типа ввода при вакууме не выше 0,1 мм рт. ст. Затем ввод заливается маслом, имеющим температуру 60 — 70°C. Вводы, залитые маслом марки ГК, бракуются в основном из-за высоких концентраций растворенных газов. Для снижения содержания газов до значений, соответствующих нормированным, разборка этих вводов не требуется при отсутствии других дефектов (нарушение герметичности, ухудшение электрофизических характеристик масла, повреждение сильфонов и др.).

Удаление газов производится путем длительной (от нескольких часов до нескольких десятков часов) вакуумировки ввода, из которого предварительно слито масло. Одновременно из нижней части ввода периодически сливаются остатки масла. Длительность вакуумировки устанавливается в зависимости от типа ввода и степени его загазованности. После окончания процесса вакуумировки ввода производится вакуумная заливка горячим маслом. Затем ввод испытывается на герметичность путем создания избыточного давления в соответствии с ГОСТ 10693-81. Для вводов со встроенными компенсаторами избыточное давление выдерживается в течение 12 ч, для вводов с выносными баками давления выдержка составляет 1 ч (при отсоединенном баке давления).

Следующей технологической операцией является проверка соответствия объема компенсации масла расчетному значению путем измерения отдачи масла из ввода при снижении давления от 3 кгс/см² до 0, после чего производится доливка масла во ввод и устанавливается давление примерно на 20% выше нормированного установочной кривой давления в связи с тем, что до и после испытаний производится отбор проб масла.

Масло для определения электрических характеристик и ХАРГ отбирается из ввода не менее чем через 24 ч после заливки. Электрофизические характеристики определяются по

ГОСТ 6581-75, ГОСТ 7822-75 и РТМ 34-70-653-83, масло должно соответствовать требованиям ТУ 38.101.1025-85.

При соответствии характеристик масла из вводов требованиям ГОСТ 10693-81 вводы далее подвергаются электрическим испытаниям.

Ввод с собственным нижним экраном устанавливается в испытательный бак, заполненный трансформаторным маслом. Нижняя фарфоровая крышка должна быть полностью погружена в масло.

Перед электрическими испытаниями измеряются характеристики внутренней изоляции ввода при низком напряжении ($\text{tg } d_1, \text{tg } d_2, \text{tg } d_3, C_1, C_2, C_3$). Измерения производятся при температуре окружающей среды не ниже 5°C .

Оценка результатов измерений значений тангенса угла диэлектрических потерь ремонтных вводов производится в соответствии с требованиями ГОСТ 10693-81 для новых вводов.

Испытания и измерения при высоком напряжении производятся в объеме приемосдаточных испытаний по ГОСТ 10693-81 за исключением испытательного одностороннего напряжения. Для ремонтных вводов оно составляет 80% нормированного значения.

Испытания односторонним напряжением проводятся одновременно с измерением характеристик частичных разрядов при напряжениях, указанных в табл. 2, и в соответствии с рисунком. Испытания вводов 110 — 330 кВ производятся приложенным напряжением от испытательного трансформатора, имеющего низкий уровень собственных ЧР.

Таблица 2

Значения испытательных напряжений при испытаниях высоким напряжением промышленной части

Параметр		Класс напряжения ввода, кВ					
		110	150	220	330	500	750
Наибольшее рабочее напряжение $U_{н.р.}$, кВ		126	172	252	363	525	787
Испытательное напряжение $U_{исп.}$, кВ	По ГОСТ 1516-76	230	275	395	510	680	950
	$0,8 U_{исп}$	184	220	316	408	544	760
Повышенное рабочее напряжение $U_{пов.раб.}$, кВ (точки 1, 3, 4)		109	149	218	315	455	682,5
Наибольшее рабочее напряжение относительно земли $U_{н.р./\sqrt{3}}$ кВ (точки 1, 4)		73	100	146	210	304	455

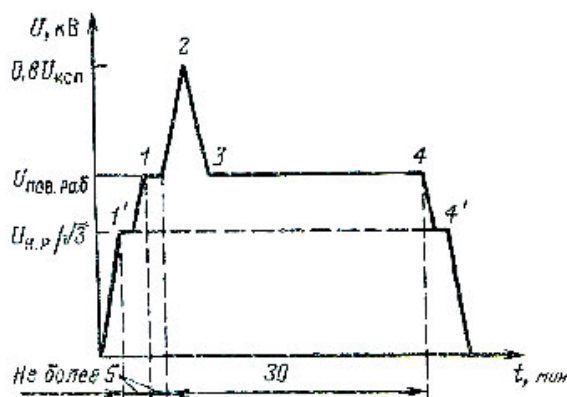


График изменения во времени испытательного напряжения

Подача напряжения осуществляется по воздуху, экранировка схемы испытаний (электростатические экраны и соединительные шины) выбирается в соответствии с ГОСТ

21023-75.

Вводы 750 кВ испытываются по безвоздушной схеме. Испытуемый ввод своей нижней частью погружается в масло специальной испытательной установки и в ее баке подсоединяется к обмотке, в которой индуцируется испытательное напряжение.

Испытания вводов 110 — 750 кВ производятся по методикам ГОСТ 1516.2-76, ГОСТ 21023-75 и ГОСТ 20074-83.

Ввод считается выдержавшим испытания, если уровень частичных разрядов при $U = 1,5U_{н.р}/3$ не превышал 10 пКл.

Измеренные после ремонта значения интенсивности сигнала частичных разрядов при длительном повышенном напряжении составляли для трансформаторных вводов 110 — 750 кВ от 1 до 10 пКл (среднее значение 7 пКл).

Следует отметить, что для реакторных вводов 750 кВ значение измеренной интенсивности частичных разрядов при длительном повышенном напряжении 682,5 кВ составило обособленную совокупность, равную 20 — 100 пКл (среднее для 10 вводов значение 50 пКл), т.е. уровень частичных разрядов в реакторных вводах 750 кВ при длительном повышенном напряжении примерно в 7 раз больше аналогичного уровня ЧР в трансформаторных вводах 750 кВ.

Измерения при высоком напряжении тангенса угла диэлектрических потерь основной изоляции ($tg d_1$) и его прироста ($\Delta tg d_1$), а также емкости C_1 производятся по нормальной схеме измерительного моста Р 5026 с использованием эталонного конденсатора МСФ 60/600.

Измерения $tg d$ производятся при $0,3 U_{н.р}$, $0,6 U_{н.р}$ и $0,85 U_{н.р}$.

Измеренные при этих напряжениях и температуре 10 — 25°C после ремонта значения $tg d_1$ приведены далее.

Класс напряжения ввода, кВ	$tg d_1$, %	$\Delta tg d_1$, %
110 – 150	0,22 – 0,785	0,0005 – 0,07
220 – 330	0,243 – 0,63	0,0003 – 0,09
500 – 750	0,38 – 0,58	0,03 – 0,5

Окончательная оценка результатов электрических испытаний ремонтных вводов, имеющих положительные результаты измерений электрических характеристик, производилась по данным ХАРГ масла. Масло из вводов отбиралось не менее чем через 6 сут., необходимых для выхода образовавшихся в изоляции при испытаниях газов в масло.

В табл. 3 приведены концентрации растворенных газов, полученные после ремонта вводов. В этой же таблице для сравнения приведены значения концентраций газов, с которыми вводы поступали в ремонт, и допустимые значения концентраций газов во вводах перед их монтажом в соответствии с требованиями завода-изготовителя. Следует отметить, что из вводов в процессе ремонта как с сушкой остовов, так и без нее полностью удалены такие газы, как C_2H_2 и CO . До ремонта у части вводов содержание этих газов достигало 0,003 и 0,1% соответственно. Общее газосодержание во вводах после ремонта не превышало 1%, до ремонта в некоторых вводах оно достигало 10%.

Таблица 3

Концентрации растворенных газов в масле вводов 110 – 750 кВ до и после ремонта

Состояние ввода	Класс напряжения, кВ	H_2 , массовая доля		C_xH_y , массовая доля	
		Т-750	ГК	Т-750	ГК
До ремонта	110 – 150	1000	2000 – 3000	130	130
	220 – 330	800	1000 – 2000	170	80
	500 – 750	-	200	-	-
После ремонта	110 – 150	0 – 50	0 – 80	5	7

Состояние ввода	Класс напряжения, кВ	Н ₂ , массовая доля		С _x Н _y , массовая доля	
		Т-750	ГК	Т-750	ГК
	220 – 330	0 – 10	0 – 60	8	17
	500 – 750	0 – 20	0	2	2
В соответствии с требованиями [5]	110 – 150	-	500	-	250
	220 – 330	-	125	-	150
	500 – 750	-	50	50	125

Содержание водорода и сумма углеводородных газов во вводах после ремонта и электрических испытаний приведены далее.

Класс напряжения ввода, кВ	Содержание Н ₂ , массовая доля	УС _x Н _y , массовая доля
110 – 150	0 – 80	0,1 – 7
220 – 330	0 – 60	0,1 – 17
500 – 750	0 – 20	0,1 – 2

Выводы

1. В высоковольтных вводах 110 — 750 кВ герметичного исполнения, залитых маслом марки Т-750, в эксплуатации происходит снижение электрической прочности вдоль внутренней поверхности фарфоровых покрышек и поверхности изоляции из-за отложения на них осадка из продуктов разложения масла. В толще изоляции в процессе эксплуатации сохраняются достаточные запасы электрической прочности.

2. Соответствующие технологические процессы ремонта позволяют восстановить изоляцию вводов с маслом марки Т-750 без замены изоляции до состояния, соответствующего требованиям ГОСТ 10693-81.

3. Основной объем вводов 110 — 750 кВ, залитых маслом марки ГК, бракуется из-за повышенного содержания растворенных газов в масле. Для восстановления изоляции этих вводов в большинстве случаев не требуется их разборка.

Список литературы

1. Сравнительные исследования трансформаторных масел марок Т-750 и ГК / Евсеев Ю.А., Кассихин С.Д., Куликов И.П., Савина Е.И. - Электрические станции, 1988, № 10.
2. О причинах повреждаемости высоковольтных герметичных вводов с бумажно-масляной изоляцией конденсаторного типа / Евсеев Ю.А., Кассихин С.Д., Куликов И.П., Савина Е.И. - Электрические станции, 1989, №1.
3. Повышение эффективности профилактических испытаний высоковольтных вводов / Соколов В.В., Ванин Б.В., Носулько Д.Р., Назаров А.И. - Электрические станции, 1989, № 11.
4. Нормы испытания электрооборудования. М.: Атомиздат, 1978.
5. Методические указания по диагностике состояния изоляции высоковольтных вводов 110 — 750 кВ. М.: АО "Мосизолятор", 1994.