

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

Кафедра автоматики и телемеханики

Ю. Ф. БЕРЕЗНЯЦКИЙ, А. Г. СЕРЕНКОВ, О. В. САВКО

# ЛИНИИ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНИКИ И СВЯЗИ

Лабораторный практикум

Часть 1

*Одобрено методическими комиссиями  
факультета безотрывного обучения и электротехнического факультета*

Гомель 2009

УДК 656.25 (076.5)  
ББК 39.965  
Б48

**Р е ц е н з е н т** – зав. кафедрой «Микропроцессорная техника и информационно-управляющие системы» канд. физ.-мат. наук, доцент *Н. В. Рязанцева* (УО «БелГУТ»).

**Березняцкий, Ю. Ф.**

Б48 Линии автоматики, телемеханики и связи : лабораторный практикум. В 2 ч. Ч. 1 / Ю. Ф. Березняцкий, А. Г. Серенков, О. В. Савко ; М-во образования Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2009. – 44 с.  
ISBN 978-985-468-655-4 (ч. 1)

Рассмотрены устройство оборудования высоковольтных линий автоблокировки, порядок проведения измерений в кабельных линиях импульсным методом, а также приведены расчеты характеристик оптического кабеля.

Предназначен для студентов факультетов безотрывного обучения и электротехнического в качестве руководства при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Линии автоматики, телемеханики и связи».

**УДК 656.25 (076.5)**  
**ББК 39.965**

**ISBN 978-985-468-655-4 (ч. 1)** © Березняцкий Ю. Ф., Серенков А. Г., Савко О. В., 2009

**ISBN 978-985-468-656-1**

© Оформление. УО «БелГУТ», 2009

## **ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ**

К линиям автоматики, телемеханики и связи предъявляются высокие требования по обеспечению надежности и стабильности их работы. Качество работы электрических линий во многом зависит от того, как хорошо обслуживающими их специалистами усвоены методы контроля, настройки и регулирования электрических цепей. По этой причине в программе курса "Линии автоматики, телемеханики и связи" большое внимание уделяется лабораторным работам, которые помогают студентам лучше усвоить теоретический материал, увязать теорию с практикой, получить практические навыки обслуживания линейных устройств автоматики, телемеханики и связи.

Выполнению каждой лабораторной работы должна предшествовать самостоятельная подготовка, в процессе которой прорабатывается теоретический материал, выполняются необходимые расчеты, изучаются лабораторные макеты и приборы. Допуск к выполнению лабораторной работы осуществляется после ответов на контрольные вопросы.

Все лабораторные работы выполняются по графику, составленному на семестр в соответствии с рабочей программой курса. Это позволяет студентам готовиться к лабораторным работам заранее. Неподготовившиеся студенты к выполнению лабораторных работ не допускаются.

Лабораторные работы выполняются согласно практикуму. После выполнения работы студент предъявляет преподавателю результаты измерений.

Студенты несут материальную ответственность за порчу лабораторного оборудования. При обнаружении неисправности они обязаны сообщить об этом преподавателю или лаборанту.

Отчеты по выполненным работам оформляются в тетрадях объемом 12 л. Схемы, рисунки, графики вычерчиваются карандашом или тушью с применением чертежных принадлежностей. Элементы схем должны выполняться в соответствии с требованиями ЕСКД. Содержание отчёта приводится в методических указаниях по каждой работе. Оформленный и подписанный студентом отчет по предыдущей работе предъявляется преподавателю перед началом следующего занятия. Студенты, не представившие отчет, к выполнению очередной работы не допускаются. Зачет по выполненной работе принимается во время лабораторных занятий или в дополнительные часы согласно расписанию кафедры. Студент обязан знать основные теоретические сведения по данной работе, порядок ее выполнения, уметь делать выводы по результатам проведенных исследований.

В лаборатории должны соблюдаться правила техники безопасности, с которыми студентам надлежит ознакомиться перед началом лабораторных работ и расписаться об этом в журнале.

Питание макетов в лаборатории "Линии автоматики, телемеханики и связи" осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В, представляющим опасность для жизни человека. Студентам запрещается производить какие-либо работы с цепями питания за пределами своего рабочего места. При сборке испытательных схем необходимо строго соблюдать основные правила техники безопасности:

- проверить наличие предохранителей на лабораторных макетах и приборах и соответствие их номиналов указанным значениям;

- выключить все выключатели на щитовых панелях лабораторного стола;

- убрать с рабочего места посторонние предметы;

- проверить визуально исправность измерительных приборов, коммутационных устройств, заменить провода с поврежденной изоляцией и оторванными наконечниками;

- не допускать скручивания, пересечения и натяжения проводов;

- использовать лишь те приборы, которые указаны в методических указаниях, замена приборов допускается только с разрешения преподавателя;

- проверить правильность собранной схемы.

При выполнении работы необходимо выполнять требования:

- включать электрическую схему под напряжение только с разрешения преподавателя;
- бережно обращаться с приборами, перемещения рукояток регулирующих элементов производить с небольшими усилиями;
- соблюдать тишину, поддерживать порядок и чистоту на рабочем месте;
- отключать испытательную схему от сети в случае перерыва в работе;
- производить переключения в схеме, отыскание и устранение неисправностей только после отключения ее от сети;
- в случае возникновения неполадок в работе схемы немедленно отключить ее от сети и поставить в известность преподавателя;
- по окончании работы обесточить и разобрать схему, собрать соединительные провода и приборы и убрать их на отведенные для этого места.

## Лабораторная работа № 1

### **ИЗУЧЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЛИНИЙ АВТОБЛОКИРОВКИ**

**Цель работы.** Изучить устройство и принцип действия оборудования, устанавливаемого на высоковольтных линиях автоблокировки (ВЛ АБ).

#### **1 СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ**

Основное питание устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) осуществляется от специальных воздушных линий автоблокировки напряжением 6 или 10 кВ, сооружаемых вдоль железнодорожных путей.

Резервное питание устройств ЖАТ на участках с электротягой постоянного тока и участках с автономной тягой осуществляется, как правило, от трехфазных линий продольного электроснабжения (ПЭ) напряжением 6 или 10 кВ. На участках с электротягой переменного тока резервное питание обеспечивается от линий “два провода – рельс” (ДПР) с напряжением 27,5 кВ. В отдельных случаях производится резервирование от пунктов питания с дизель-генераторным агрегатом (ДГА). Допускается также применять

резервное питание от высоковольтных линий промышленного назначения напряжением 6, 10 или 35 кВ. ВЛ АБ предназначены только для питания сигнальных точек на перегонах и постов электрической централизации (ЭЦ) на малых станциях. Высоковольтные линии продольного электроснабжения (ВЛ ПЭ) и линии ДПР кроме резервирования устройств ЖАТ обеспечивают питанием железнодорожные служебные и жилые здания, освещение территории железнодорожных станций, электроинструмент для путевых работ и другие нагрузки.

Оборудование сигнальной точки автоблокировки подключается к ВЛ АБ с помощью понижающего силового трансформатора. Для этой цели используются однофазные масляные трансформаторы с переключением без возбуждения типов ОМ (однофазный масляный), ОМГ (однофазный масляный герметичный), ОМП (однофазный масляный преобразовательный) и ЗОМЖ (защищенный однофазный масляный). Изготавливаются трансформаторы типов ОМ-0,63/6, ОМ-0,63/10, ОМ-1,25/6, ОМ-1,25/10, ЗОМЖ-1/27,5 и др. (таблица 1).

Таблица 1 – Технические характеристики трансформаторов ОМ

Показатель	Номинальная мощность, кВА					
	0,63	0,66	1,2	1,25	4	10
Номинальный ток первичной обмотки, А	0,105	0,11	0,2	0,2	0,66 (–)	0,67
	0,063	0,066	0,12	0,125	0,4 (0,4)	1
Напряжение короткого замыкания, %	6,8	8	7	6	4 (–)	4
	6	9	7	6	4 (4,76)	4
Ток холостого хода, А	0,051	0,022	0,044	0,046	0,053 (–)	0,116
	0,021	0,030	0,030	0,028	0,032 (0,007)	0,07
Потери холостого хода, Вт	18	36	40	23	55 (–)	90
	13	26	30	23	50 (20,5)	90
Потери короткого замыкания, Вт	42	50	73	60	140 (–)	300
	42	56	65	60	140 (145)	300
Масса, кг	50	44	48	55	150 (–)	165
	50	63	70	50	150 (150)	165
<p><i>Примечания</i></p> <p>1 Значения в верхней части строк показателей указаны для первичного напряжения 6 кВ, а в нижней – для первичного напряжения 10 кВ.</p> <p>2 В скобках указаны значения для трансформаторов ОМП.</p>						

Цифры до знака «/» в обозначении указывают на номинальную мощность трансформатора в киловольт-амперах, а после знака – на

номинальное входное напряжение в киловольтах. Внешний вид трансформаторов представлен на рисунке 1, электрическая схема – на рисунке 2, а чертеж – на рисунке 3.

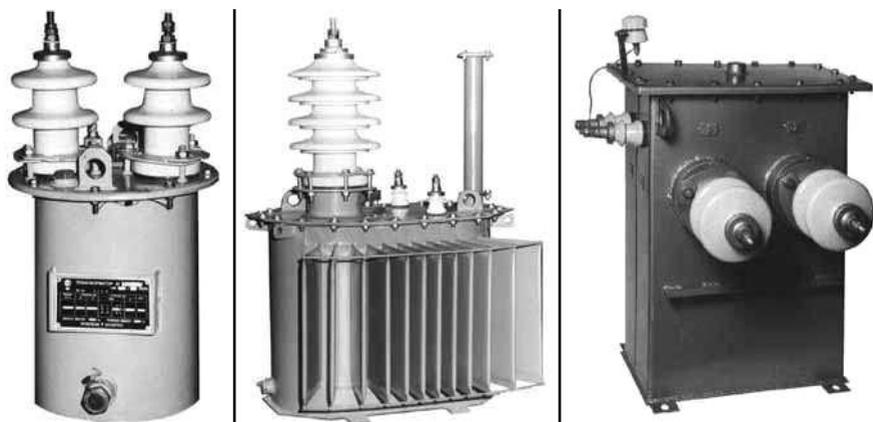


Рисунок 1 – Внешний вид трансформаторов ОМ различных исполнений

Номинальное напряжение на первичной обмотке трансформаторов (на входе) составляет 6 или 10 кВ, напряжение на вторичной обмотке трансформаторов (на выходе) – 230 В.

Промышленностью выпускаются также комплектные трансформаторные подстанции однофазные типа КТПО и подъемно-опускные типа КТП-П. Кроме трансформаторов они комплектуются разрядниками, плавкими вставками, разъединителями и распределительным щитком.

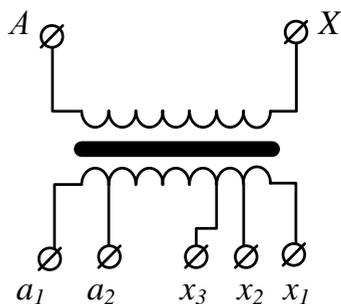
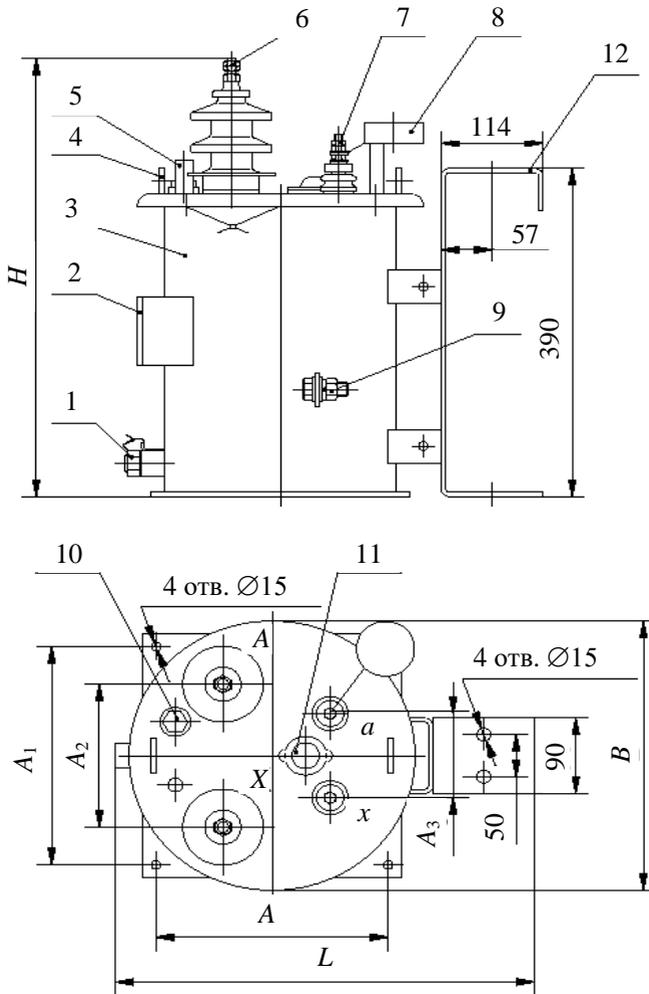


Рисунок 2 – Электрическая схема трансформатора ОМ

В трансформаторах ОМ для подстройки выходного напряжения под величину 230 В при различных значениях напряжения на первичной обмотке (выводы А и Х), обусловленных разной удаленностью трансформаторов от питающей подстанции, используются различные выводы вторичной обмотки  $a_i$  и  $x_i$  (см. рисунок 2). При этом следует руководствоваться таблицей 2. В новых моделях трансформаторов предусмотрен специальный блок

переключения ответвлений обмотки низкого напряжения.

В настоящее время на сети железных дорог для обеспечения питания цепей автоблокировки от ВЛ АБ и продольного электроснабжения железных дорог также применяют трансформаторы силовые сухие марки ОЛ-0,63/6, ОЛ-0,63/10, ОЛ-1,25/6, ОЛ-1,25/10 и др. с характеристиками тока и напряжения, близкими по значениям к трансформаторам ОМ.



- 1 – пробка для слива и отбора пробы масла; 2 – идентификационная табличка;  
 3 – масляный бак; 4 – серьга для подъема трансформатора; 5 – предохранительный клапан;  
 6 – вводы высокого напряжения (6 или 10 кВ); 7 – выводы низкого напряжения ( $\leq 230$  В);  
 8 – место крепления пробивного предохранителя; 9 – зажим заземления; 10 – маслоуказатель;  
 11 – блок переключения ответвлений обмотки низкого напряжения; 12 – скоба

Рисунок 3 – Чертеж трансформатора ОМ

Таблица 2 – Подключение выводов вторичной обмотки трансформаторов типа ОМ для обеспечения выходного напряжения 230 В при изменении величины первичного напряжения

В киловольтах

Тип трансформатора	Первичное напряжение при соединении выводов				
	$a_2$ и $x_3$	$a_2$ и $x_2$	$a_2$ и $x_1$	$a_1$ и $x_2$	$a_1$ и $x_1$
ОМ-0,63/6; ОМ-1,25/6	6,3	6,0	5,7	5,4	5,15
ОМ-0,63/10; ОМ-1,25/10	10,5	10,0	9,5	9,0	8,59

Схема подключения трансформатора ОМ к сигнальной точке автоблокировки показана на рисунке 4, где РВО – разрядники вентильные облегченные, защищающие трансформатор от грозовых и других перенапряжений; ПКБ – комбинированные плавкие предохранители-разъединители блокировочные.

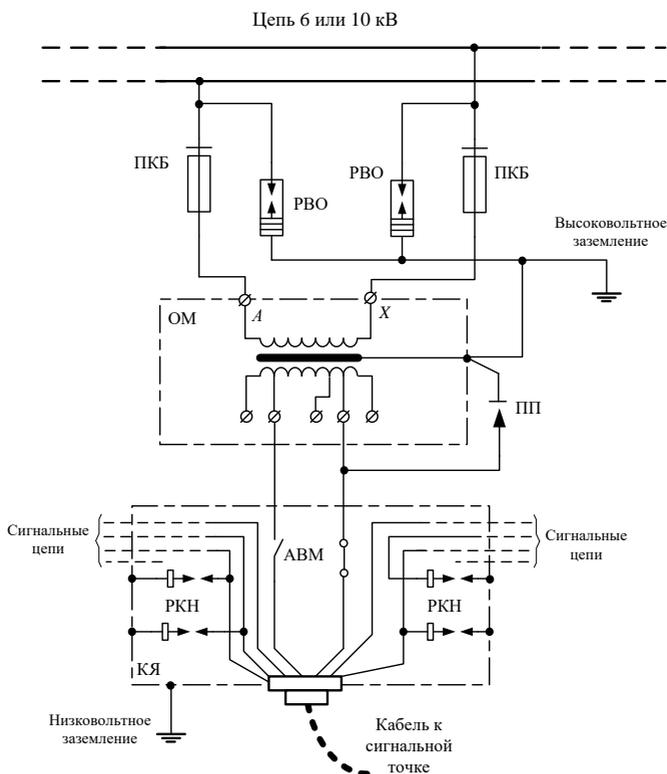


Рисунок 4 – Схема подключения трансформатора ОМ к сигнальной точке автоблокировки

Плавкие вставки защищают высоковольтную цепь от коротких замыканий в трансформаторе, откидная крышка с ушком на ПКБ с помощью специальной штанги позволяет с земли отключить трансформатор от высоковольтной цепи или подключить его к ней. Пробивной предохранитель ПП защищает от пробоя изоляции между обмотками высшего и низшего напряжения трансформатора и повышает безопасность обслуживающего персонала; АВМ – автоматический многоразовый выключатель максимального тока на 5–10 А; РКН – разрядник керамический с ножевыми выводами.

Для уменьшения опасности поражения обслуживающего персонала на силовой опоре имеются два заземления: высоковольтное и низковольтное.

Разрядник РВО (рисунок 5) состоит из искровых промежутков 2

и нелинейных резисторов 3, заключенных в герметично закрытую фарфоровую крышку 1, которая защищает внутренние элементы разрядника от воздействия внешней среды и обеспечивает стабильность характеристик. Нелинейные резисторы разрядников РВО изготовлены из спецмассы "вилит" и обладают нелинейной вольт-амперной характеристикой. Появление на зажимах разрядников высокого напряжения вследствие атмосферного перенапряжения или касания высоковольтного провода автоблокировки с проводом линии электропередачи высокого напряжения приводит к резкому уменьшению сопротивления вилитовых дисков.

В результате падение напряжения на них очень мало и все перенапряжение прикладывается к искровым промежуткам. Образуется дуга, замыкающая на землю токи перенапряжений. При восстановлении номинального напряжения сопротивление вилитовых дисков резко возрастает, падение напряжения на них увеличивается, и напряжения, приложенного к искровым промежуткам, недостаточно для поддержания дуги. Дуга гаснет, высоковольтная линия автоблокировки отключается от земли.

Так как разрядники РВО подключаются параллельно первичной обмотке трансформатора, напряжение на нем не может значительно превысить номинальную величину.

Технические характеристики разрядников РВО-6 и РВО-10 (цифры 6 и 10 после знака дефис обозначают величину действующего напряжения сети в киловольтах) представлены в таблице 3.

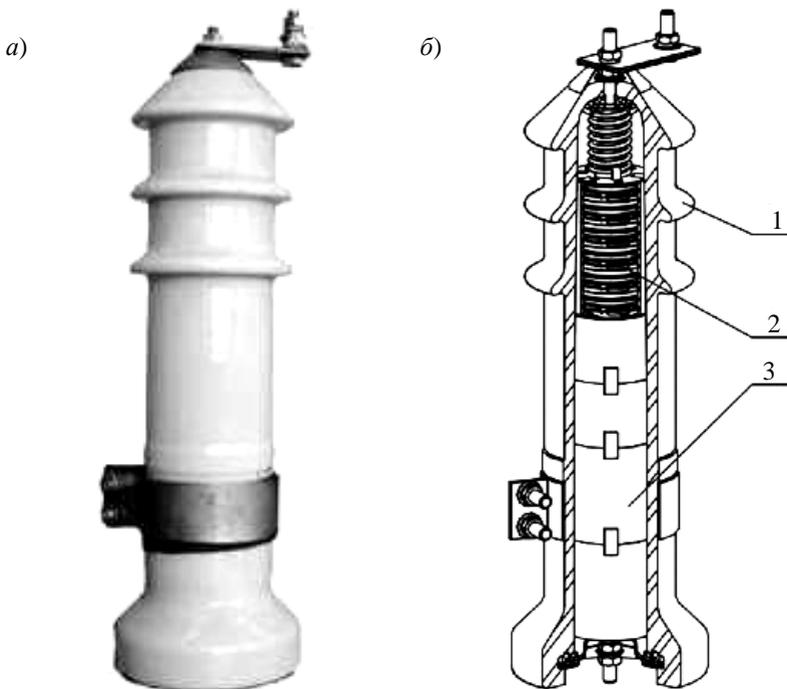


Рисунок 5 – Разрядник РВО: внешний вид (а), чертеж (б)

В последние годы на ВЛ АБ стали применять также специальные ограничители перенапряжения (ОПН). Среди наиболее надежных приборов из семейства ограничителей на сегодняшний день считаются устройства, производимые корпорацией «Raychem» (Германия). Основной элемент современного ОПН – металлооксидный варистор, сделанный на основе оксида цинка. Он позволяет пропускать возникающие в сети импульсы высокой энергии. Металлооксидные диски установлены внутри прочного волокноно-усиленного композита (рисунок б), полностью заключенного в корпус-капсулу, выполненную из трекингостойкого термоусаживаемого полимера, обладающего свойством самоочищения в условиях загрязненной окружающей среды.

Места вводов и пространство между корпусом и высокопрочной композитной структурой заполнены мастичным материалом, что обеспечивает надежную герметизацию внутри ОПН. Такая конструкция ОПН делает невозможным электрический пробой по

наружной поверхности варистора и исключает возможность взрыва ОПН, что свойственно некоторым аналогичным устройствам других производителей.

Таблица 3 – Характеристики разрядников РВО

Параметр	Значение	
	РВО-10	РВО-6
Класс напряжения сети, кВ, действующее	10	6
Номинальное напряжение, кВ, действующее	12,7	7,5
Пробивное напряжение при частоте 50 Гц в сухом состоянии и под дождем, кВ, действующее:		
- не менее	26	16
- не более	30,5	19
Импульсное пробивное напряжение при предразрядном времени от 2 до 20 мкс, кВ, не более	48	32
Остающееся напряжение при волне импульсного тока 8/20 мкс, кВ, не более с амплитудой тока, А:		
- 3000	43	25
- 5000	45	27
Выпрямленное испытательное напряжение при измерении тока утечки, кВ	10	6
Ток утечки, мкА	6	6
Токовая пропускная способность 20 импульсов тока:		
- волной 16/40 мкс, кА	5,0	5,0
- волной длительностью 2000 мкс, А	75	75
Длина пути утечки внешней изоляции, см, не менее	26	18
Высота, мм, не более	411	297
Масса, кг, не более	4,2	3,1

ОПН Polygarde выпускают на номинальные напряжения от 6 до 35 кВ. Для ВЛ АБ используют ОПН PolyGarde типов HDA-06NA (номинальное напряжение – 6 кВ, разрядное напряжение – 7,5 кВ) и HDA-10NA (номинальное напряжение – 10 кВ, разрядное напряжение – 12,5 кВ). Они рассчитаны на величину номинального разрядного тока – 10 кА.

Трансформаторы ОМ также снабжаются пробивными предохранителями ПП. Наличие пробивного предохранителя в схеме обусловлено требованиями правил устройства электроустановок ПУЭ, в которых указано, что однофазная сеть напряжением до 1 кВ с изолированным выводом, связанная через трансформатор с сетью напряжением выше 1 кВ, должна быть защищена пробивным предохранителем от опасности появления высокого напряжения в низковольтной обмотке при повреждении изоляции между обмотками

трансформатора.

Пробивной предохранитель должен быть установлен на стороне низшего напряжения трансформатора.

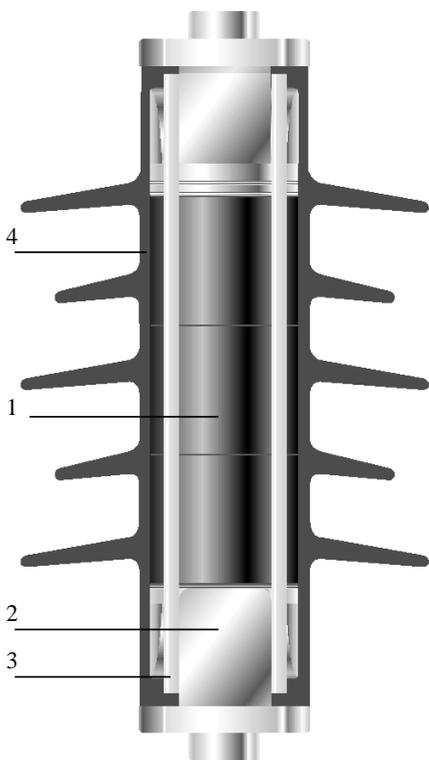
Пробивные предохранители типа ПП-А/З (рисунок 7) предназначены для защиты сетей переменного тока напряжением до 690 В частотой 50 и 60 Гц от появления в них высокого потенциала.

Максимальный ток, на прохождение которого в результате пробоя в течение 10 мин рассчитаны предохранители – 200 А. Электрическая прочность изоляции предохранителей вне мест разрядного промежутка в нормальных климатических условиях такова, что напряжение 2500 В переменного тока (амплитудное значение) частотой 50 Гц, приложенное в течение 1 мин, не вызывает пробоя или перекрытия.

Сопротивление изоляции вне мест разрядного промежутка в нормальных климатических условиях не менее 4 МОм. Характеристики ПП по напряжению представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Основные данные по напряжению предохранителей ПП-А/З

Напряжение		В вольтах
номинальное	пробивное	
220/230	351–600	
380/400	701–1000	



1 – металлооксидный варистор;  
2 – электроды; 3 – армирующая структура из волоконного композиционного материала;  
4 – непроводящее полимерное покрытие

Рисунок 6 – Конструкция ОПН марки PolyGarde фирмы «Raychem»

660/690	1101–1600
<i>Примечание</i> – При повышении влажности окружающего воздуха до 90 % пробивное напряжение снижается примерно на 30 %, а при влажности до 98 % – на 35 %.	

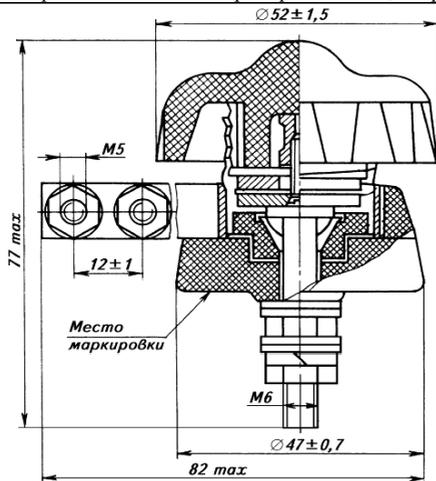


Рисунок 7 – Чертеж пробивного предохранителя ПП-А/3

крышки (рисунок 8, б). На внутренней стороне крышки установлены две скобы, в которые вставляется собственно предохранитель (рисунок 8, в), состоящий из бакелитового контейнера с латунными наконечниками и плавкой вставки.

Для отключения от силовой цепи и защиты трансформатора ОМ при коротком замыкании его подключают к высоковольтной линии автоблокировки через комбинированные предохранители-разъединители ПКБ (рисунок 8, а), которые бывают двух типов ПКБ-6 или ПКБ-10 (предохранитель с кварцевым наполнителем для целей блокировки на напряжение 6 или 10 кВ).

Конструктивно предохранитель-разъединитель ПКБ состоит из корпуса и

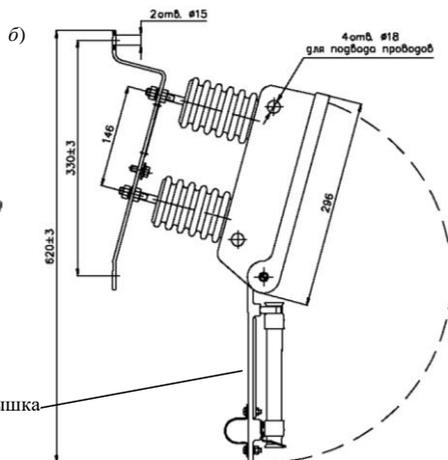
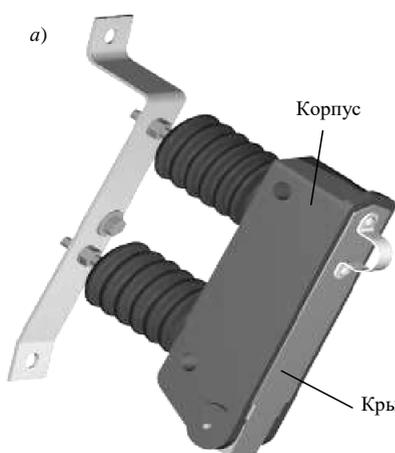


Рисунок 8 – Предохранитель ПКБ: внешний вид (а), чертеж (б)

Технические характеристики предохранителя ПКБ-10 представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Характеристики ПКБ-10

Показатель	Значение показателя
Номинальное напряжение, кВ	10
Номинальный ток, А	0,5
Минимальный ток отключения, А	2
Масса предохранителя, кг	4
Масса плавкой вставки, кг	0,2

При закрытой крышке предохранитель включен в первичную цепь трансформатора и защищает его от протекания токов перегрузки в первичной обмотке. Если крышку открыть, трансформатор отключается от силовой цепи.

Для защиты силового трансформатора от токов перегрузки или от короткого замыкания в цепи низкого напряжения в его вторичную обмотку включен автоматический выключатель многократного действия АВМ с номинальным током отключения, равным номинальному току трансформатора. Исполнительным органом автоматического выключателя является биметаллическая пластинка, изгибающаяся при нагреве от прохождения тока и отключающая нагрузку от трансформатора.

В схеме питания сигнальной точки автоблокировки также используют низковольтные разрядники типа РКН (разрядник керамический с ножевыми выводами), которые предназначены для защиты изоляции цепей переменного тока с напряжением от 0 до 250 В и постоянного тока с напряжением от 0 до 120 В от импульсных перенапряжений, возникающих в результате грозových разрядов и коммутационных процессов в линиях электропитания.

Кроме перечисленного оборудования на высоковольтных линиях устанавливаются трехполюсные разъединители и кабельные муфты.

Трехполюсные разъединители, например типа РЛНД (рисунок 9), предназначены:

– для создания видимого разрыва электрической цепи с целью обеспечения безопасного обслуживания электротехнического оборудования;

- включения и отключения под напряжением обесточенных участков цепи высокого напряжения;
- заземления отключенных участков при помощи стационарных заземлителей;
- отключения и включения тока холостого хода трансформаторов.

По сути, в высоковольтных линиях автоматики и телемеханики они служат для разъединения проводов силовой цепи в пунктах секционирования.

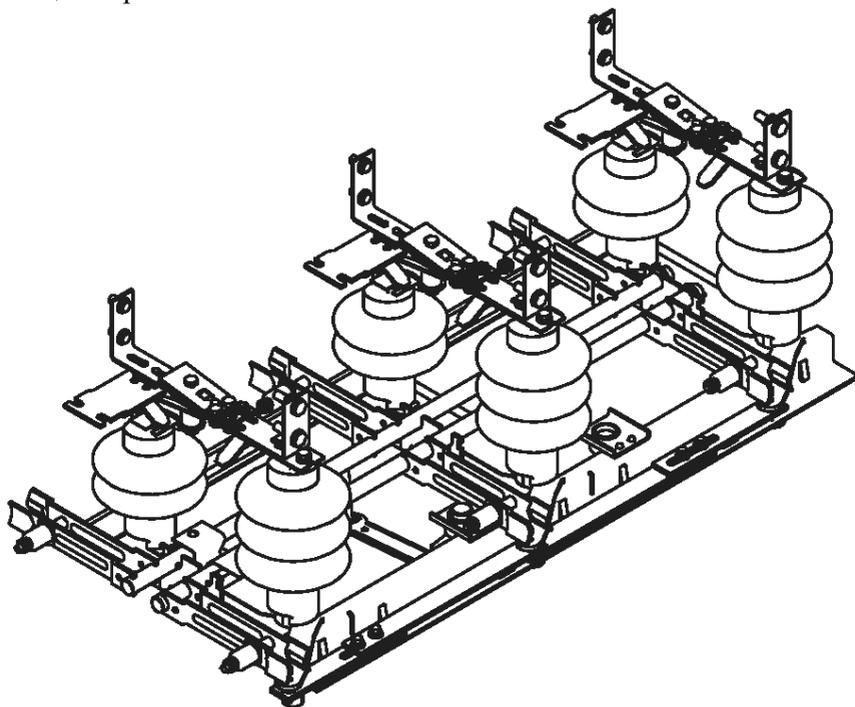


Рисунок 9 – Внешний вид разъединителя РЛНД

Перечень используемых разъединителей:

- РЛНД-1-10-200, РЛНД-1-10-400, РЛНД-1-10-630;
- РЛНД-10-200, РЛНД-10-400, РЛНД-10-630;
- РЛНД-2-10-200, РЛНД-2-10-400, РЛНД-2-10-630;
- РЛНД-1-10Б-200, РЛНД-1-10Б-400, РЛНД-1-10-630;
- РЛНДМ-1-10-200, РЛНДМ-1-10-400, РЛНДМ-1-10-630.

Расшифровка условного обозначения:

РЛНД – разъединитель линейной наружной установки, двухколонковый (с двумя опорными изоляторами);

М – с медными ножами;

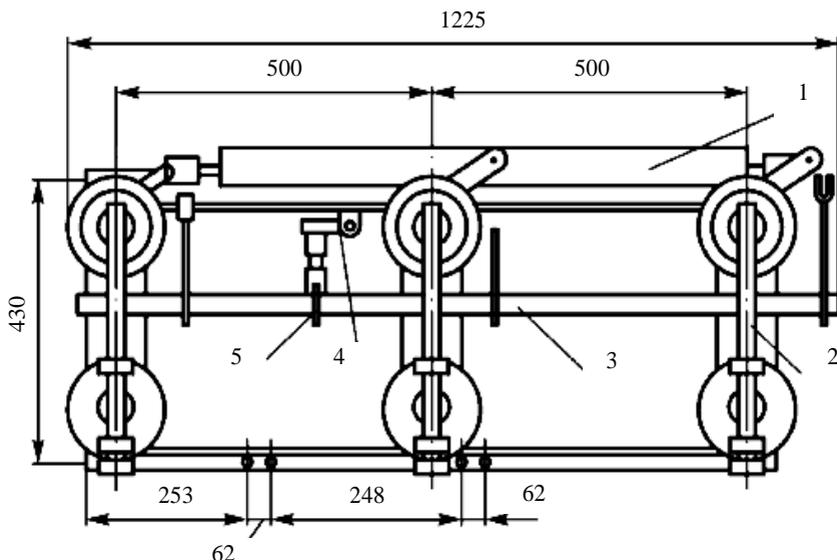
1, 2 – количество заземляющих ножей;

10 – номинальное напряжение, кВ;

Б – усиленное исполнение изоляции;

200, 400, 630 – номинальный ток, А.

Конструктивно разъединитель представляет собой двухполюсный или трёхполюсный аппарат, каждый полюс которого имеет одну неподвижную и одну подвижную колонки, с разворотом главных ножей в горизонтальной плоскости (рисунок 10). Привод разъединителя выполнен так, что исключает возможность оперирования заземлителем, пока не отключены ножи главного контура. В корпусе привода предусмотрены отверстия для установки блок-замка.

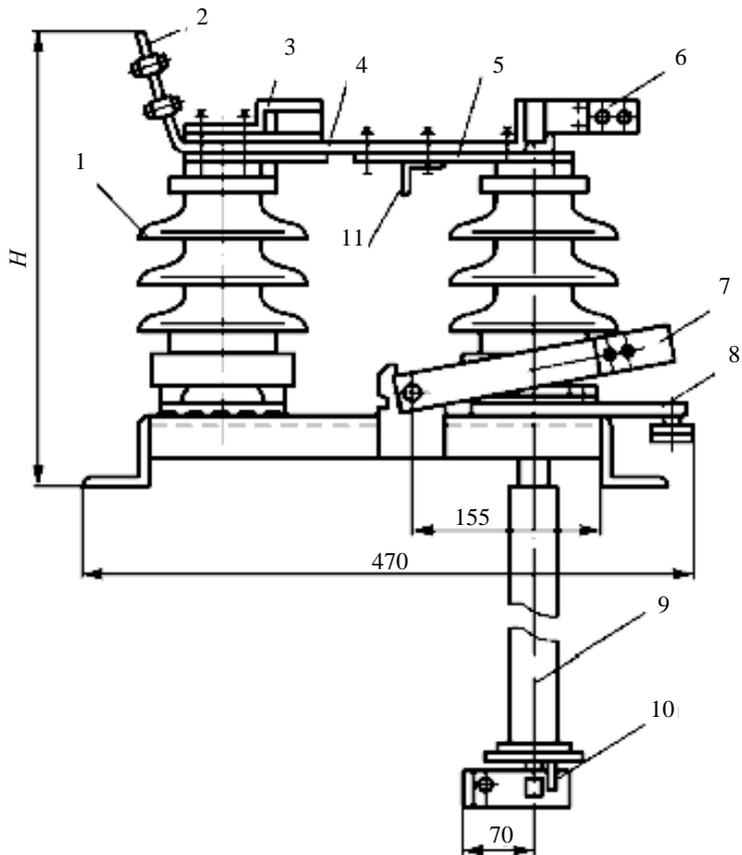


1 – продольная тяга; 2 – рама; 3 – вал заземления;  
4 – рычаг с валом; 5 – регулируемая тяга

Рисунок 10 – Чертеж РЛНД-1 (вид сверху)

Изоляция разъединителя состоит из четырех или шести

изоляторов (рисунок 11), два или три из которых устанавливаются на рычагах, а остальные на швеллерах. На верхних фланцах изоляторов разъединителя установлена токоведущая система, выполненная в виде двух контактных ножей.



- 1 – изолятор; 2, 6 – контактные выводы; 3 – козырек; 4 – контактный нож;  
 5 – разъёмные контакты; 7 – заземлитель; 8 – рычаг; 9 – тяга заземлителя;  
 10 – блок-замок; 11 – контакт заземлителя

Рисунок 11 – Чертеж РЛНД-1 (вид сбоку)

Наиболее распространенным является разъединитель РЛНД-1, технические данные которого представлены в таблице 6.

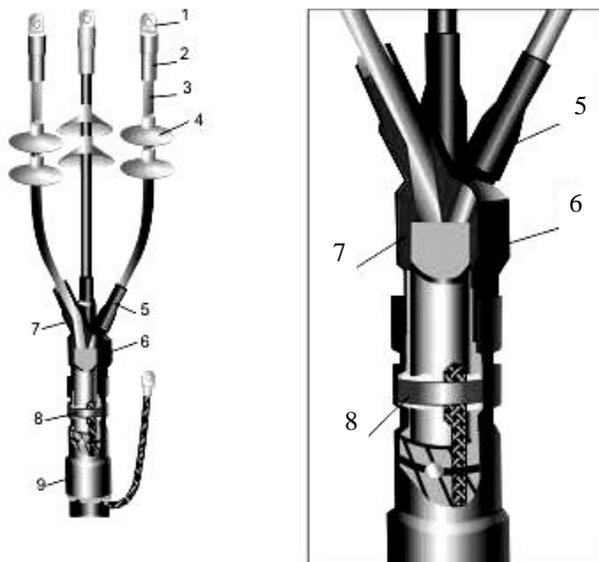
Для перехода высоковольтной линии автоблокировки в кабель на опоре в месте стыка ранее устанавливалась муфта Фирсова.

В настоящее время вместо муфты Фирсова применяют муфты

кабельные концевые наружной установки термоусаживаемые типа КНТп, КНТтп (рисунок 12), эпоксидные типа КНЭ, стальные типа КНСт отечественного производства, муфты фирмы Rauchem типа GUST и др.

Таблица 6 – Характеристики разъединителя РЛНД-1

Параметр	Значение параметра для марки разъединителя		
	РЛНД-1-10-200	РЛНД-1-10-400	РЛНД-1-10-630
Номинальное напряжение, кВ	10		
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12		
Номинальный ток, А	200	400	630
Ток электродинамической стойкости, кА	25		
Ток термической стойкости, кА	10		
Время протекания тока термической стойкости, с: - для главных ножей - для ножей заземления	4 1		
Установленный ресурс по механической прочности, циклов	10000		
Масса трехполюсного разъединителя, кг: - без заземлителей - с одним заземлителем - с двумя заземлителями	30 39 –	31 40 –	– 39 43



1 – наконечник болтовой; 2 – манжета концевая; 3 – жильная трубка; 4 – изолятор;  
 5 – манжета пальцевая; 6 – перчатка высоковольтная; 7 – лента-регулятор; 8 – детали переключки (тёрка, провод с наконечником, пружина); 9 – манжета поясная

Рисунок 12 – Схема концевой муфты КНТп-10

## 2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 Изучить теоретические сведения по данному практикуму и рекомендуемой преподавателем литературе.

2 По имеющимся в лаборатории образцам оборудования наглядно ознакомиться с его конструктивным исполнением и способами монтажа.

3 Сделать выводы по работе, в которых отразить основные особенности заданного преподавателем элемента высоковольтных линий автоблокировки.

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

1 Наименование и цель работы.

2 Краткая характеристика оборудования высоковольтных линий автоблокировки.

3 Принципиальная схема подключения питающего трансформатора к сигнальной точке автоблокировки.

4 Ответы на заданные преподавателем контрольные вопросы.

## 5 Выводы по работе.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Назначение и место установки муфты Фирсова.
- 2 Для чего в разрядниках РВО имеется несколько вилтовых дисков и искровых промежутков вместо одного?
- 3 Назначение пробивного предохранителя ПП.
- 4 Для чего в трансформаторе ОМ выполнено секционирование вторичной обмотки?
- 5 Почему предохранитель ПКБ называют «комбинированный»?
- 6 Какими основными техническими параметрами характеризуются предохранители ПКБ?
- 7 Какими основными техническими параметрами характеризуются трансформаторы ОМ?
- 8 В чем состоит основное назначение АВМ?
- 9 Трансформаторы ОМ каких типов выпускаются промышленностью?
- 10 Какими основными техническими параметрами характеризуются разрядники РВО?
- 11 Разъединители каких типов вам известны? В чем их существенные отличия?
- 12 Каково назначение разрядников РКН?

## Лабораторная работа № 2

### ИМПУЛЬСНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЙ В ЛИНИЯХ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНИКИ И СВЯЗИ

Цель работы. Изучить методику определения повреждений в линиях измерителем неоднородностей Р-5-9.

#### 1 СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

В настоящее время импульсный метод широко применяется для определения места повреждения в линиях автоматики, телемеханики и связи. Этот метод основан на явлении частичного или полного отражения электромагнитных волн от места неоднородности волнового сопротивления цепи.

Для реализации метода в цепь периодически посылаются короткие зондирующие импульсы или единичные перепады напряжения, а на экране электронно-лучевой трубки (ЭЛТ) формируется изображение зондирующего (ЗИ) и отраженных (ОИ) импульсов, разделенных промежутками времени  $t_x$  (рисунок 1). При этом могут фиксироваться ОИ от нескольких мест неоднородности. Изображение ОИ на экране ЭЛТ для части или всей цепи называют рефлектограммой, или импульсной диаграммой цепи.

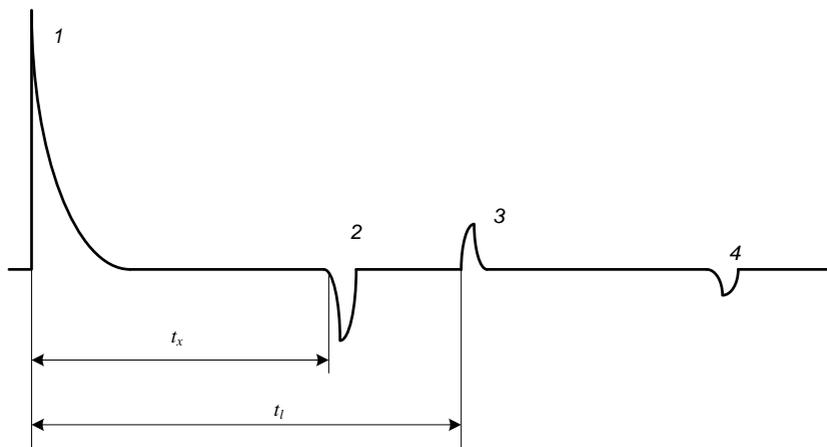


Рисунок 1 – Импульсная диаграмма цепи

Зондирующие импульсы являются многочастотным сигналом. Для отдельных частотных составляющих коэффициент отражения определяется соотношением входного сопротивления цепи в месте неоднородности  $Z_n$  по направлению передачи ЗИ и волнового сопротивления линии  $Z_b$ :

$$k_0 = (Z_n - Z_b) / (Z_n + Z_b). \quad (1)$$

Можно считать, что углы комплексных сопротивлений в месте неоднородности равны и коэффициент отражения определяется разностью модулей этих сопротивлений. Тогда амплитуда отраженного импульса на входе цепи

$$U_{он} = U_{зи} k_0 e^{-2\alpha l_x} = U_{зи} e^{-2\alpha l_x} (Z_n - Z_b) / (Z_n + Z_b), \quad (2)$$

где  $U_{зи}$  – амплитуда зондирующего импульса;

$\alpha$  – километрическое затухание цепи;

$l_x$  – расстояние до места повреждения.

Из (2) следует, что при  $Z_n > Z_b$  ОИ имеет ту же полярность, что и ЗИ (точка 3 – отражение от обрыва цепи или места значительного повышения сопротивления изоляции, см. рисунок 1). При  $Z_n < Z_b$  полярность ОИ противоположна полярности ЗИ (точки 2 и 4 на рисунке 1 – отражение от места короткого замыкания или места значительного понижения сопротивления изоляции).

Вследствие частотной зависимости затухания цепи и коэффициента отражения, а также скорости распространения ОИ существенно растягивается (уширяется). Это обуславливает снижение точности измерения расстояния до места неоднородности. Для обеспечения более крутого фронта ОИ необходимо уменьшать длительность ЗИ. Однако при этом расширяется его частотный спектр и, следовательно, увеличивается затухание для высокочастотных составляющих. Поэтому при измерениях длительность ЗИ подбирается по максимальной крутизне фронта ЗИ.

Временной промежуток  $t_x$  между фронтами ЗИ и ОИ на экране ЭЛТ зависит от расстояния  $l_x$  до места отражения и средней скорости распространения  $v$  импульса по цепи:

$$v t_x = 2 l_x, \quad (3)$$

следовательно,

$$l_x = vt_x/2. \quad (4)$$

Длительность промежутка  $t_x$  определяется по экрану ЭЛТ с помощью калиброванных меток времени или калиброванной задержки развертки.

Средняя скорость распространения импульсов для различных цепей колеблется в пределах нескольких сотен метров за микросекунду и для некоторых цепей ее приближенные значения указаны в таблице 1.

**Таблица 1 – Скорость распространения импульса в различных линиях**

Тип линии	Скорость распространения импульсного сигнала, м/мкс	Коэффициент укорочения электромагнитной волны $\gamma$
Воздушная линия электропередач	295	1,02
Воздушная линия связи с медными сплавами	286	1,05
Стальная воздушная линия связи	230	1,3
Силовая кабельная	150–158	1,9–2,0
Кабельная высокочастотная полиэтиленовой изоляцией с	200	1,5
Кабельная высокочастотная полувоздушной изоляцией с	250	1,2
Кабельная высокочастотная фторопластовой изоляцией с	213	1,41
Кабельная кордельной изоляцией с	133–200	1,5–2,26

Для повышения точности измерений для каждой измеряемой цепи скорость определяют экспериментально, измеряя  $t_x$  на известной длине  $l_x$ . С этой же целью снимают растянутые импульсные диаграммы исправных цепей, на которых фиксируются ОИ от технологических и конструктивных неоднородностей с привязкой к определенным пунктам.

Для измерения расстояния до мест неоднородностей

(повреждений) цепей применяют специальные приборы группы P5. Приборы этой группы различаются предельной измеряемой длиной цепи, разрешающей способностью, способом измерения  $t_x$  и погрешностью определения  $l_x$ . Приборы этой группы позволяют измерять расстояние до места обрыва проводов или плохих контактов, до места существенного снижения сопротивления изоляции между проводами, между проводами и землей или металлической оболочкой кабеля, расстояние до места сосредоточения электромагнитной связи между цепями (например, разбитость пар в кабеле), а также до других неоднородностей.

Преимущества импульсных методов заключаются в скорости измерений, возможности определения одновременно нескольких повреждений, непосредственном отсчете результата на экране прибора или специальной шкале.

Недостатком импульсных методов является их слабая чувствительность к понижению сопротивления изоляции, так как даже значительно пониженная по сравнению с нормами величина сопротивления изоляции не изменяет волнового сопротивления линии. Известно, что измерители неоднородностей на основе импульсного зондирования в состоянии определить место пониженной изоляции при переходном сопротивлении в месте повреждения не более пятикратной величины волнового сопротивления испытываемой линии, т. е., как правило, не более 1 кОм. Для сравнения следует отметить, что величина чувствительности мостовых измерителей доходит до 100 Ом.

Относительно низкая чувствительность импульсных измерителей объясняется их слабой помехозащищенностью. Вследствие этого уровень зондирующего импульса, отраженного от места повреждения, становится сравним с уровнем помехи, возникающей под действием влияния посторонних источников или стационарных неоднородностей испытываемой линии, например в местах стыковки воздушных и кабельных линий.

Упрощенная структурная схема прибора группы P5 для определения места повреждения цепей воздушных и кабельных линий связи представлена на рисунке 2.

Задающий генератор ЗГ с кварцевой стабилизацией частоты синхронизирует работу всех узлов прибора. Тактовый генератор ТГ с помощью делителей частоты формирует импульсные



задержки зондирующего импульса УЗЗИ с помощью резистора «Установка отсчета» позволяет совмещать изображение ЗИ с отметкой на экране ЭЛТ в нулевом положении шкалы «Расстояние».

Генератор зондирующих импульсов ГЗИ формирует ЗИ колокольной формы с длительностью, переключаемой в пределах 0,05–30 мкс, а также единичные импульсы напряжения. Для корректировки формы ОИ предусмотрена регулировка формы ЗИ резистором «Компенсация». Коммутационное устройство КУ передает ЗИ и принимает ОИ по одной и той же цепи или по разным цепям с частичной компенсацией амплитуды ЗИ на входе усилителя вертикального отклонения УВО, а также переключает на симметричный и несимметричный относительно земли вход/выход. УВО обеспечивает необходимую для регистрации ОИ регулируемую чувствительность. Калиброванные метки времени от ФКМ используют при проверках прибора, а также при определении скорости распространения импульсов.

Для определения расстояния до места отражения переключателем «Диапазон» выбирают необходимую длину просматриваемой цепи. При нулевом положении шкалы «Расстояние» регулировкой «Установка отсчета» совмещают фронт ЗИ с одной из отметок шкалы ЭЛТ. По шкале «Укорочение» устанавливают известный для измеряемой цепи коэффициент укорочения ЭМВ. После этого регулировкой «Расстояние» совмещают фронт ОИ с той же отметкой на шкале ЭЛТ. Расстояния до места повреждения отсчитывают по делениям шкалы «Расстояние» с учетом положения переключателя «Диапазон».

## **2 ОПИСАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ, ПРИБОРОВ И ПОРЯДКА РАБОТЫ С НИМИ**

1 Макет кабельной линии с элементами имитации повреждений.

2 Измеритель неоднородностей кабелей Р-5-9.

3 Работа с прибором Р-5-9.

3.1 Подготовка к работе:

а) подготовка прибора к включению:

– произведите внешний осмотр прибора и убедитесь в отсутствии механических повреждений и неисправностей;

– установите прибор в удобное для работы положение;

– установите органы управления в исходное положение:

«Расстояние» – «0», «Скор.разв.» – в крайнее левое, «∇» – в положение «1», «Плавно» – в среднее, «Питание» – «Откл»;

- заземлите прибор (проверьте заземление);
- подключите шнур питания к питающей сети;

б) включение прибора и проверка на функционирование:

– поверните ручку «Питание» в положение «Внешн.». При этом должна загореться индикаторная лампа, и через 0,5–2 мин на экране ЭЛТ появляется линия развертки;

– проверьте прибор на функционирование. Для этого ручками «☉», «⊙» и «|» отрегулируйте соответственно яркость, фокусировку и положение луча на экране ЭЛТ. Положение развертки должно быть на середине экрана ЭЛТ. Включите переключатель «∇» метки. При этом на линии развертки должны появиться масштабные метки времени;

- подключите к прибору измерительный кабель.

### 3.2 Порядок работы с прибором.

Подготовка к проведению измерений:

– установите переключатель «Диапазон М» в произвольное положение. Результат измерения расстояния до неоднородности будет более точным, если отсчет производить в конце диапазона измерения;

– установите ручку «Укорочение» в положение, соответствующее значению укорочения ЭМВ в испытуемом кабеле. Значение коэффициента укорочения ЭМВ  $\gamma$  для ряда типов кабелей приведены в таблице 1.

### 3.3 Калибровка прибора.

Установите ручку «Расстояние» в положение «0», ручку «Укорочение» – в положение 1,5, переключатель «∇» – в положение «Метки» (от 1 до 20). Ручкой «Плавно» установите необходимую амплитуду калибровочных меток. Совместите ручкой «Скор.разв.» одну из меток с риской на шкале ЭЛТ (зондирующий импульс).

### 3.4 Проведение измерений:

– выберите необходимый диапазон измерения, исходя из ожидаемой длины кабеля;

– установите тумблер «Зонд.имп.» в положение «10» или «30» при испытании кабелей малой длины и в положение «100» при испытании кабелей с большим затуханием или при плохом согласовании, если измерения производятся в диапазонах 100 и 1000

м. При измерениях на диапазонах 1000, 10000 м длительность зондирующего импульса устанавливается равной «100», «500» или «2000» – в зависимости от длины кабеля;

– совместите ручкой «Уст.отсчета» фронт зондирующего импульса с отсчетной риской на шкале ЭЛТ;

– подключите испытуемый кабель;

– произведите осмотр импульсной характеристики (ИХ) линии на экране ЭЛТ путем вращения ручки «Расстояние» вправо. Для получения более четкой ИХ (кривой на экране ЭЛТ) ручку «∇» установите в положение «20» и ручкой «Плавно» произведите увеличение или уменьшение величины изображения;

– отыщите всплеск на ИХ линии, соответствующий отражению от неоднородности – места предполагаемого повреждения линии, и установите характер повреждения;

– вращением ручки «Расстояние» совместите фронт отраженного сигнала с отсчетной риской;

– произведите отсчет расстояния до неоднородности по шкале «Расстояние» с учетом положения ручки «Диапазон М». Отсчетное устройство «Расстояние М» имеет две шкалы: грубую – 10 делений и точную – 100 делений. Отсчет производится следующим образом:

$$L_x = M(N \cdot 10^{-1} + n \cdot 10^{-3}), \quad (6)$$

где  $L_x$  – измеряемое расстояние, м;

$M$  – показание ручки «Диапазон М»;

$N$  – показание грубой шкалы;

$n$  – показание точной шкалы.

*Пример отсчета.* Показание грубой шкалы – 3, показание точной шкалы – 17, диапазон измерения – 100 отсюда

$$L_x = 100 (3 \cdot 10^{-1} + 17 \cdot 10^{-3}) = 31,7 \text{ м.}$$

### 3 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 По данным методическим указаниям ознакомиться с теорией импульсных измерений в линиях, описанием и порядком работы с прибором Р-5-9.

2 Для заданных преподавателем мест повреждений в макете линии выполнить измерение прибором Р-5-9 расстояний до мест

повреждения и вида повреждений. Для каждого из повреждений зарисовать эпюры импульсных сигналов с экрана ЭЛТ прибора. Зафиксировать полученные данные в форме, представленной в таблице 2.

3 Сделать выводы по работе, в которых отразить основные особенности импульсных измерений в линиях связи, выделить их преимущества и недостатки.

*Таблица 2 – Результаты измерений*

Порядковый номер тумблера на макете линии	Положение тумблера	Эпюры импульсного сигнала	Расстояние до места повреждения, м
1	«+»		
	«-»		
2	«+»		
	«-»		
....	....	....	....

## СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 1 Наименование и цель работы.
- 2 Краткие сведения из теории, относящиеся к сути определения повреждений в линиях импульсным методом.
- 3 Структурная схема измерителя неоднородностей.
- 4 Ответы на заданные преподавателем контрольные вопросы.
- 5 Выводы по работе.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 В чем заключаются преимущества импульсного метода определения неоднородностей в линиях?
- 2 Каковы недостатки импульсного метода определения неоднородностей в линиях?
- 3 Каким образом в импульсном методе возможно определить характер повреждения в линиях?
- 4 Сущность импульсного метода.
- 5 Чем обусловлено снижение точности измерения расстояния до места повреждения?
- 6 Каким образом возможно повысить точность измерений для каждой измеряемой цепи?
- 7 Общая характеристика приборов, работающих на принципе импульсного метода.
- 8 Как определить расстояние до места повреждения в линии импульсным

методом?

9 Каким образом в лабораторном макете линии реализовано то, что зондирующий импульс не отражается от конца отрезка проверяемого кабеля?

10 Чем объясняется относительно низкая чувствительность импульсных измерителей?

11 Что понимается под неоднородностью линии и какие существуют физические эквиваленты неоднородностей?

## Лабораторная работа № 3

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОПТИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ

**Цель работы.** Определить числовую апертуру, нормированную частоту, количество мод, критическую частоту и длину волны типа HE<sub>21</sub>, дисперсию, границы изменения фазовой скорости и волнового сопротивления кабеля для заданного варианта.

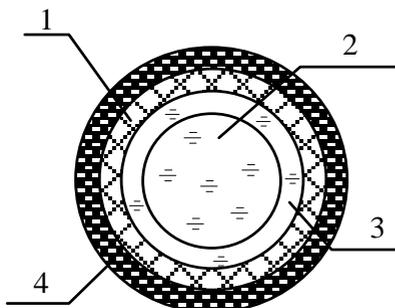
#### 1 СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

##### 1.1 Общие сведения

Основным элементом оптического кабеля (ОК) является волоконный световод, выполненный в виде тонкого стеклянного волокна цилиндрической формы. Волоконный световод имеет двухслойную конструкцию и состоит из сердцевины и оболочки с разными оптическими характеристиками – показателями преломления  $n_1$  и  $n_2$ . Сердцевина служит для передачи электромагнитной (световой) энергии. Назначение оболочки: создание лучших условий отражения на границе сердцевина – оболочка и защита от излучения энергии в окружающее пространство. Снаружи располагается защитное покрытие для

предохранения волокна от механических воздействий и нанесения расцветки (рисунок 1).

В отличие от обычных кабелей, обладающих электрической проводимостью и током проводимости  $I_{пр}$ , ОК имеют совершенно другой механизм передачи, а именно токи смещения  $I_{см}$ , на основе



1 – первичное покрытие; 2 – сердцевина (сердечник); 3 – оболочка; 4 – защитное покрытие (оболочка)

Рисунок 1 – Поперечный разрез волоконного световода

которых действует также радиопередача. Отличие от радиопередачи состоит в том, что волна распространяется не в свободном пространстве, а концентрируется в самом объеме световода и передается по нему в заданном направлении (рисунок 2).

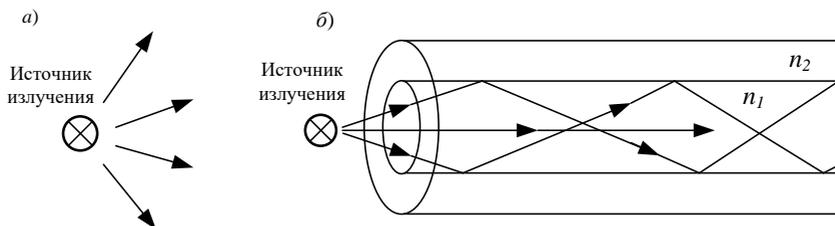


Рисунок 2 – Процесс передачи:

*a* – по радио; *б* – по световоду

Передача волны по световоду осуществляется за счет отражений ее от границы сердечника и оболочки, имеющих разные показатели преломления ( $n_1$  и  $n_2$ ).

В обычных кабелях носителем передаваемой информации является электрический ток, а в ОК – лазерный луч.

В обычных широко применяемых в настоящее время симметричных и коаксиальных кабелях передача осуществляется по двухпроводной схеме с применением прямого и обратного проводника цепи (рисунок 3, *a*). В световодах, волноводах и других направляющих системах нет двух проводников, и передача происходит волноводным методом. Передача осуществляется за счет многократного отражения волны от границы раздела сред (рисунок 3, *б*).

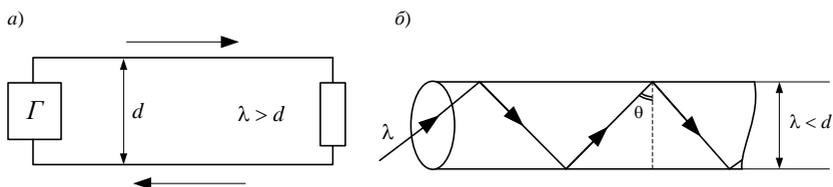


Рисунок 3 – Двухпроводные (*a*) и волноводные (*б*) направляющие системы

Такой границей отражения может быть металл – диэлектрик, диэлектрик – диэлектрик с различными диэлектрическими

(оптическими) свойствами и др. На волноводном принципе действуют световод, волновод, линия поверхностной волны, диэлектрический волновод и другие конструкции направляющих систем.

Граница раздела двухпроводных (двухсвязных) и волноводных (односвязных) направляющих систем характеризуется соотношением между длиной волны  $\lambda$  и поперечными размерами направляющей системы  $d$ . При  $\lambda > d$  требуется два провода: прямой и обратный, и передача происходит по обычной двухпроводной схеме. При  $\lambda < d$  не требуется двухпроводной системы, и передача происходит за счет многократного зигзагообразного отражения волны от границ раздела сред с различными характеристиками. Поэтому передача по волноводным системам (световодам, волноводам и другим направляющим системам) возможна лишь при частотах, когда длина волны соизмерима или меньше, чем поперечные размеры – диаметр направляющей системы. Таким образом, в световоде могут распространяться лишь волны с длиной, меньшей, чем диаметр сердечника ( $\lambda < d$ ).

Наиболее широкое применение получили волоконные световоды двух типов: ступенчатые и градиентные (рисунок 4).

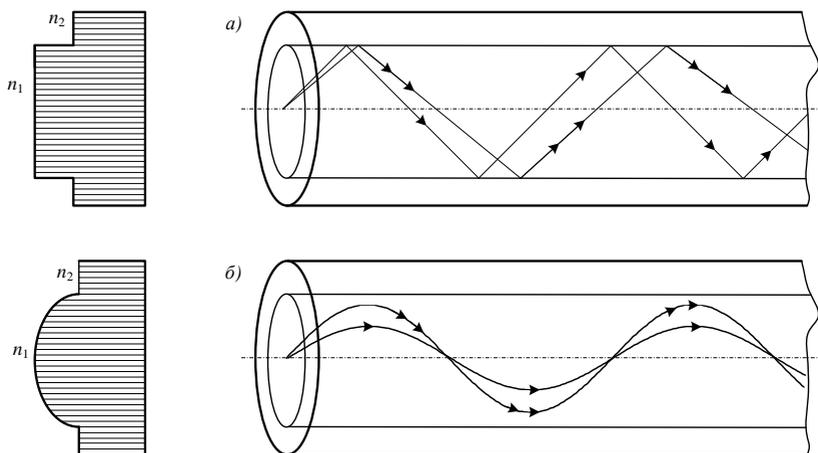


Рисунок 4 – Волоконные световоды со ступенчатым (а) и градиентным (б) профилями показателя преломления

У ступенчатых световодов показатель преломления  $n_1$  в

сердечнике постоянен и отличается от показателя преломления  $n_2$  оболочки, и лучи зигзагообразно отражаются от границы сердечник – оболочка. Градиентные световоды имеют непрерывное плавное изменение показателя преломления  $n_1$  в сердцевине по радиусу световода от центра к периферии, и лучи распространяются по волнообразным траекториям.

Учитывая, что в световоде границей раздела сред сердцевина – оболочка являются прозрачные стекла, возможно не только отражение оптического луча, но и проникновение его в оболочку. Для предотвращения перехода энергии в оболочку и излучения в окружающее пространство необходимо соблюдать условие полного внутреннего отражения. Реализация этого условия применительно к двухслойному световоду показана на рисунке 5.

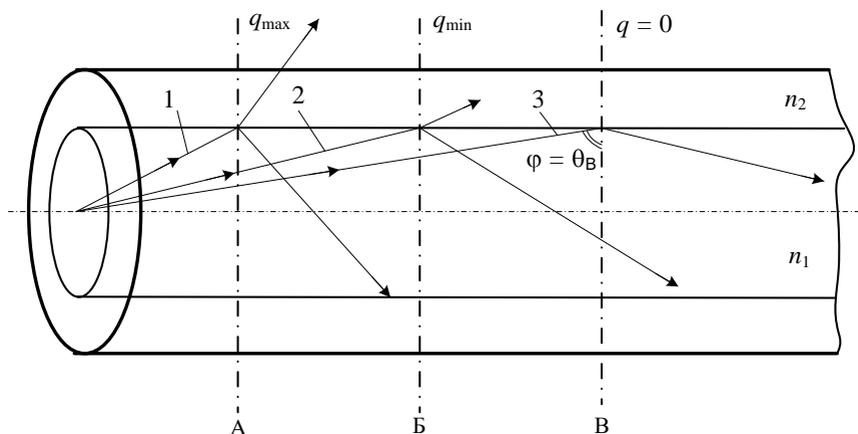


Рисунок 5 – Прохождение лучей в двухслойном световоде: имеется преломленный луч (точки А и Б); отсутствует преломленный луч – режим полного отражения (точка В)

По законам геометрической оптики в общем виде на границе сердечник – оболочка будут падающий, отраженный и преломленный лучи (лучи 1 и 2 в точках А и Б). Известно, что при переходе из среды с большей плотностью в среду с меньшей плотностью луч при определенном угле падения полностью отражается и не переходит в другую среду. Преломленный луч отсутствует. Угол падения  $\varphi$ , начиная с которого вся энергия отражается от границы раздела сред, т. е. при  $\varphi = \theta_B$ , называется *углом полного внутреннего отражения* (луч 3 в точке В).

В световодах могут существовать два типа волн:

симметричные  $E_{0m}$ ,  $H_{0m}$  и несимметричные дипольные  $EH_{nm}$ ,  $HE_{nm}$ . В индексе  $n$  – число изменений поля по диаметру;  $m$  – число изменений поля по периметру. Симметричные волны электрические  $E_{0m}$  и магнитные  $H_{0m}$  имеют круговую симметрию ( $n = 0$ ). Раздельное распространение по световоду несимметричных волн типа  $E_{nm}$  и  $H_{nm}$  невозможно (т. е., несимметричные волны типа  $E_{nm}$  и  $H_{nm}$  в волоконных световодах существовать не могут, они возбуждаются в металлических волноводах). В световоде они существуют только совместно, т. е. имеются продольные составляющие  $E$  и  $H$ . Эти волны называются гибридными, дипольными и обозначаются через  $HE_{nm}$ , если поле в поперечном сечении напоминает поле  $H$ , или  $EH_{nm}$ , если поле в поперечном сечении ближе к волнам  $E$ .

Типы волн, распространяемые по световоду, называются *модами*.

Угол полного внутреннего отражения предопределяет условие подачи света на входной торец волоконного световода. Как показано на рисунке 6, световод пропускает лишь свет, заключенный в пределах телесного угла  $\theta_A$ , величина которого обусловлена углом полного внутреннего отражения  $\theta_B$ . Этот телесный угол характеризуется апертурой.

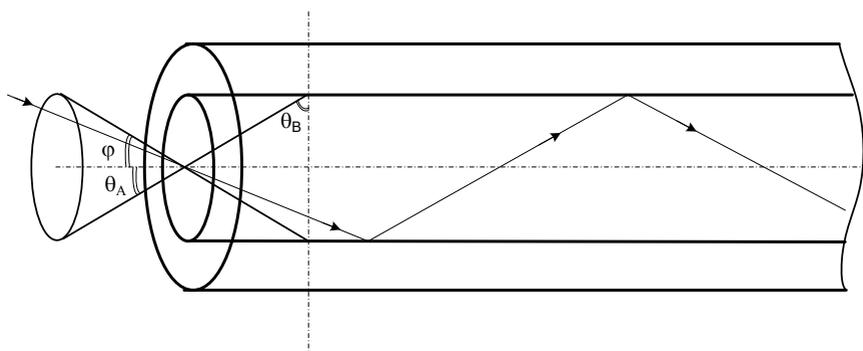


Рисунок 6 – Апертура волоконного световода

Апертура – это угол между оптической осью и одной из образующих светового конуса, попадающего в торец волоконного световода, при котором выполняется условие полного внутреннего отражения.

Лучевая теория света допускает распространение по световоду

большого числа лучей – всех лучей, попадающих в апертурный конус световода. По волновой теории по световоду распространяется лишь ограниченное число волн с дискретными углами. Часть промежуточных волн за счет интерференции гасят друг друга и ослабляются.

В общем случае в волоконном световоде могут существовать три типа волн: направляемые, излучаемые и вытекаемые. Действие и преобладание какого-либо типа волн связано в первую очередь с апертурой и соотношением углов падения волны  $\varphi$  и полного внутреннего отражения  $\theta_B$ .

*Направляемые волны* НВ (волны сердцевины) – это основной тип волны, распространяющийся по световоду. Здесь вся энергия сосредоточена внутри сердцевины световода и обеспечивает передачу информации. Направляемые волны возбуждаются при вводе лучей в торец световода под углом, больше угла полного отражения  $\varphi > \theta_B$ , т. е. в пределах апертурного угла.

*Излучаемые волны* ИВ (пространственные волны) возникают при вводе под углом, меньшим угла полного отражения ( $\varphi < \theta_B$ ), т. е. вне апертуры. Здесь вся энергия уже вначале линии излучается в окружающее пространство и не распространяется вдоль световода. Это связано с дополнительными потерями энергии. Излучение также характерно для нерегулярных световодов с изгибами и другими нарушениями однородности.

Промежуточное положение занимают *вытекающие волны* ВВ (волны оболочки). Здесь энергия частично распространяется вдоль световода, а часть ее переходит в оболочку и излучается в окружающее пространство. Вытекающие волны образуются в первую очередь за счет косых лучей.

Излучаемые и вытекающие волны – это паразитные волны, отбирающие энергию направляемой волны и искажающие вследствие интерференции передачу по световоду. За счет этих волн в первую очередь возникают переходные влияния и помехи в соседних световодах.

Волоконные световоды характеризуются двумя важнейшими параметрами: *затуханием* и *дисперсией*. Затухание предопределяет длину регенерационных участков (рассеяние между регенераторами). Дисперсия приводит к ограничению полосы передачи по световоду и уменьшению длины регенерационного участка. Коэффициент

затухания световодных трактов оптических кабелей  $\alpha$  обусловлен собственными потерями в волоконных световодах  $\alpha_c$  и дополнительными потерями, так называемыми кабельными  $\alpha_k$ , вызванными скруткой, а также деформацией и изгибами световодов при наложении покрытий и защитных оболочек в процессе изготовления оптического кабеля:  $\alpha = \alpha_c + \alpha_k$ .

Собственные потери волоконных световодов состоят в первую очередь из потерь поглощения энергии в диэлектрике  $\alpha_n$  и потерь рассеяния ее на мельчайших частицах световодной структуры  $\alpha_p$ . Потери поглощения существенно зависят от чистоты материала и при наличии посторонних примесей могут достигать значительной величины ( $\alpha_n + \alpha_p$ ). Потери на рассеяние лимитируют предел минимально допустимых значений потерь в волоконных световодах. В результате  $\alpha = \alpha_n + \alpha_p + \alpha_{пр} + \alpha_k$ .

## 1.2 Аналитические зависимости для расчета параметров оптического кабеля

Соотношение коэффициентов преломления сердцевин и оболочек

$$\Delta \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1}. \quad (1)$$

Обычно пользуются понятием числовой апертуры:  $NA = n_0 \sin \theta_A$ . Учитывая, что для воздуха  $n_0 = 1$ , получаем

$$NA = \sin \theta_A = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \quad (2)$$

где  $n_0$ ,  $n_1$ ,  $n_2$  – соответственно показатели преломления воздуха, сердечника и оболочки.

Необходимо стремиться к тому, чтобы угол ввода луча в торец световода  $\varphi$  вкладывался в апертурный угол ( $\varphi \leq \theta_A$ ), а угол падения луча на границу сердцевина – оболочка был больше угла полного внутреннего отражения  $\theta_B$  и находился в пределах  $\theta_B - 90^\circ$ .

Режим работы световода характеризуется обобщенным параметром  $V$ , включающим радиус сердечника, длину волны и коэффициенты преломления сердечника и оболочки. Этот параметр называется нормированной (характеристической) частотой

$$V = \frac{\pi d}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}, \quad (3)$$

где  $d$  – диаметр сердечника световода.

Рассмотрим критические частоты и длины волн световодов.

В волоконных световодах при очень высоких частотах почти вся энергия поля концентрируется внутри сердцевины световода, с уменьшением частоты происходит перераспределение поля, и оно переходит в окружающее пространство. При определенной частоте  $f_0$  – критической, или частоте отсечки, поле больше не распространяется вдоль световода и вся энергия рассеивается в окружающем пространстве.

Критическая частота  $f_0$ , Гц, световода для волн типа HE<sub>21</sub>

$$f_0 = \frac{2,445c}{\pi d \sqrt{n_1^2 - n_2^2}}, \quad (4)$$

где  $c = 3 \cdot 10^8$  – скорость света, м/с.

Критическая длина волны типа HE<sub>21</sub>  $\lambda_0$ , мкм, передаваемой по световоду:

$$\lambda_0 = \frac{\pi d}{2,445n_1} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}. \quad (5)$$

Общее число передаваемых мод для ступенчатого световода может быть определено по формуле

$$N = V^2. \quad (6)$$

Общее число мод для градиентного световода

$$N = V^2/2. \quad (7)$$

Дисперсия или иначе величина уширения импульса  $\tau_c$ ,  $\tau_r$ , нс, характеризуемая временем нарастания сигнала и определяемая как разность между самым большим и самым малым временем прихода лучей в сечение световода на расстоянии  $l$  от начала может быть рассчитана для ступенчатого световода по (8), а для градиентного – по (9).

$$\tau_c = \frac{(NA)^2 l}{2n_1 c}, \quad (8)$$

$$\tau_r = \frac{(NA)^4 l}{8n_1^3 c}, \quad (9)$$

где  $c = 3 \cdot 10^5$  – скорость света, км/с.

Границы изменения фазовой скорости  $c$ , км/с, определяются скоростями света в сердцевине и оболочке соответственно:

$$c / n_1 = 3 \cdot 10^5 / n_1, \quad (10)$$

$$c / n_2 = 3 \cdot 10^5 / n_2. \quad (11)$$

Таким образом, должно соблюдаться соотношение между фазовой скоростью и скоростью распространения волны в сердечнике и оболочке световода  $c / n_1 \leq v_{\phi} \leq c / n_2$ .

Волновое сопротивление волоконного световода может быть определено на основе анализа выражений для электрической  $E$  и магнитной  $H$  составляющих сигнала. На практике же пользуются предельными значениями волнового сопротивления сердцевин ( $Z_0 / n_1$ ) и оболочки ( $Z_0 / n_2$ ). В реальных условиях волновое сопротивление имеет промежуточное значение  $Z_0 / n_1 < Z_w < Z_0 / n_2$ .

Границы изменения волнового сопротивления  $Z_0$ , Ом:

$$Z_0 / n_1 = 376,7 / n_1 \quad (12)$$

и

$$Z_0 / n_2 = 376,7 / n_2, \quad (13)$$

где  $Z_0 = \sqrt{\mu_0 / \epsilon_0} = 376,7$  – волновое сопротивление идеальной среды, Ом.

### 1.3 Типы используемых оптических кабелей, применяемых в промышленности

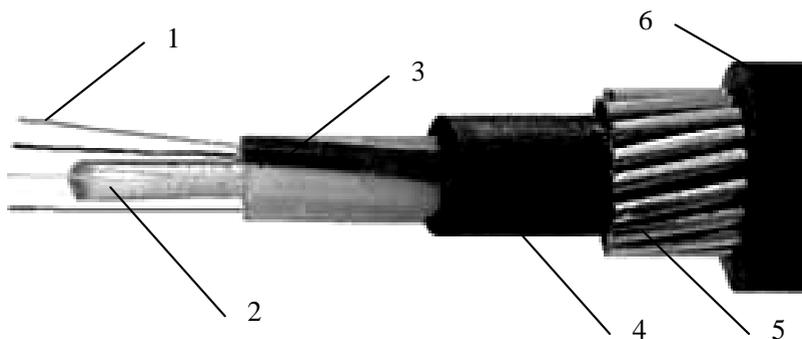
Существует большое множество разнообразных оптических кабелей. Приведем, для ознакомления, некоторые из кабелей, выпускаемых промышленностью и применяемые при строительстве кабельных линий.

ОКБ – оптический кабель для прокладки в грунтах всех категорий, в том числе зараженных грызунами, кроме грунтов, подверженных мерзлотным деформациям, в воде при пересечении неглубоких болот, водных преград и несудоходных рек, а также в

кабельной канализации, трубах, блоках, по мостам и эстакадам (рисунок 7).

Согласно спецификации кабеля ОКБ бывают различных исполнений. Например ОК(Н)Б-МхП-у, где О – оптический; К – кабель; Н – на основе полиэтилена, не поддерживающего горение; Б – бронированный стальной оцинкованной проволокой; М – кабель имеет модульную конструкцию; х – число элементов в повиве сердечника; П – центральный силовой элемент стеклопластиковый прутки;

у – число, обозначающее диаметр оптического волокна, мкм (могут быть числа 8 или 10 – для одномодового оптического волокна, а также числа 50 или 62,5 – для многомодового оптического волокна). В спецификации на кабель может отсутствовать буква Н, также вместо буквы П может быть буква Т, которая означает, что в данной конструкции кабеля центральный силовой элемент – стальной трос.

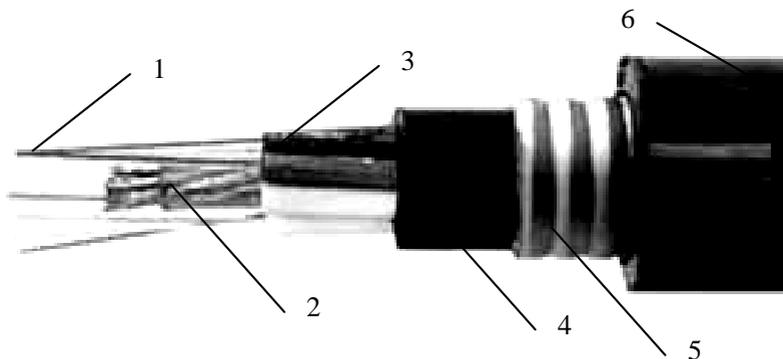


1 – оптическое волокно; 2 – центральный силовой элемент; 3 – оптический модуль;  
4 – внутренняя оболочка; 5 – броня; 6 – внешняя оболочка

Рисунок 7 – Внешний вид кабеля ОКБ в разрезе

Кабели данной конструкции могут содержать в себе до 12 оптических модулей, в каждом из которых содержится до 6 оптических волокон. Строительная длина таких кабелей составляет 4 км.

ОКС – оптический кабель для прокладки в грунтах 1–3 категорий, в том числе зараженных грызунами, в кабельной канализации, трубах, блоках, на мостах, в кабельных шахтах и эстакадах (рисунок 8).



1 – оптическое волокно; 2 – центральный силовой элемент; 3 – оптический модуль;  
4 – внутренняя оболочка; 5 – броня; 6 – внешняя оболочка

Рисунок 8 – Внешний вид кабеля ОКС в разрезе

Спецификация на кабель такая же, как и для ОКБ. Буква С в спецификации обозначает, что кабель бронирован стальной гофрированной лентой.

Кабели данной конструкции могут содержать в себе до 12 оптических модулей, в каждом из которых может быть до 12 оптических волокон. Строительная длина таких кабелей составляет 4 км.

ОКА – кабель оптический подвесной. Спецификация на кабель аналогична двум предыдущим. Буква А в спецификации обозначает, что кабель армирован (усилен) высокопрочными арамидными нитями. Строительная длина таких кабелей составляет 2 км.

## 2 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1 По рекомендованной преподавателем литературе и данным методическим указаниям ознакомиться с теоретическими сведениями по оптоволоконным кабелям и принципам действия волоконных световодов.

2 Ознакомиться с конструкцией оптоволоконных кабелей, имеющих в лаборатории.

3 По приведенным в практикуме формулам рассчитать указанные в цели работы параметры оптического кабеля согласно заданному преподавателем варианту (таблица 1).

#### 4 Сделать выводы по полученным результатам расчетов.

Таблица 1 – Исходные данные

Вариант	Диаметр сердечника (сердцевины) световода $d$ , мкм	Показатель преломления сердечника $n_1$	Показатель преломления оболочки $n_2$	Длина волны $\lambda$ , мкм	Длина кабеля $l$ , км
01	50	1,55	1,50	1,50	2,0
02	55	1,23	1,20	1,45	3,0
03	40	1,33	1,30	1,35	4,0
04	15	1,45	1,40	1,31	5,0
05	20	1,43	1,41	1,32	1,0
06	35	1,33	1,31	1,33	6,0
07	40	1,35	1,30	1,35	7,0
08	50	1,30	1,28	1,34	8,0
09	45	1,27	1,25	1,37	2,0
10	25	1,25	1,20	1,36	9,0
11	35	1,45	1,41	1,39	11

Окончание таблицы 1

Вариант	Диаметр сердечника (сердцевины) световода $d$ , мкм	Показатель преломления сердечника $n_1$	Показатель преломления оболочки $n_2$	Длина волны $\lambda$ , мкм	Длина кабеля $l$ , км
12	25	1,35	1,30	1,38	12
13	30	1,60	1,57	1,59	13
14	35	1,40	1,36	1,57	10
15	40	1,30	1,26	1,58	9,0
16	45	1,65	1,61	1,56	8,0
17	15	1,55	1,50	1,55	7,0
18	25	1,45	1,41	1,54	6,0
19	20	1,27	1,23	1,53	4,0
20	35	1,43	1,40	1,41	3,0
21	60	1,64	1,62	1,43	6,0
22	55	1,62	1,57	1,52	7,5
23	25	1,52	1,48	1,51	4,5
24	55	1,41	1,38	1,49	2,5
25	35	1,39	1,37	1,48	3,5
26	15	1,37	1,34	1,46	8,5
27	45	1,33	1,30	1,47	9,5
28	25	1,55	1,52	1,44	1,5

29	30	1,51	1,46	1,40	4,0
30	40	1,29	1,25	1,42	9,0
31	20	1,28	1,25	1,30	6,0
32	30	1,22	1,20	1,60	7,5
33	35	1,34	1,31	1,58	8,0
34	25	1,37	1,33	1,32	8,5
35	50	1,42	1,38	1,53	5,5

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 1 Из каких элементов состоит волоконный световод?
- 2 В чем заключается назначение оболочки и сердцевины волоконного световода?
- 3 Токи какого вида превалируют в волноводах?
- 4 При каком соотношении длины волны и поперечных размеров направляющей системы работают волноводы?
- 5 Волоконные световоды каких типов вам известны?
- 6 Какое условие необходимо выполнять для предотвращения перехода энергии в оболочку и излучения?
- 7 Что понимается под углом полного внутреннего отражения?
- 8 Чем характеризуется дисперсия импульса в световоде?
- 9 Что такое затухание световода и каковы его составляющие?
- 10 В чем состоит отличие направляемых, излучаемых и вытекающих волн?
- 11 Что такое мода?
- 12 В чем состоит отличие градиентных и ступенчатых световодов?
- 13 Какие типы волн существуют в световодах?
- 14 Какова величина волнового сопротивления идеальной среды и волоконного световода?

### СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Линии автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте : учеб. для вузов ж.-д. трансп. / В. В. Виноградов [и др.]. – М. : Транспорт, 1990. – 231 с.
- 2 *Ионов, А. Д.* Линии связи : учеб. пособие для вузов / А. Д. Ионов, Б. В. Попов. – М.: Радио и связь, 1990. – 168 с.
- 3 *Гроднев, И. И.* Линии связи : учеб. для вузов / И. И. Гроднев, С. М. Верник. – 5-е изд., перераб. и доп. – М. : Радио и связь, 1988. – 544 с.
- 4 Электромагнитные влияния на сооружения связи / М. И. Михайлов [и др.]. – М. : Связь, 1979. – 288 с.
- 5 *Евсеев, И. Г.* Защита устройств связи и СЦБ / И. Г. Евсеев. – М.: Транспорт, 1982. – 176 с.

*ПРИЛОЖЕНИЕ А*  
(рекомендуемое)

**Рабочая программа по дисциплине для студентов ФБО**

**1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ**

Цель дисциплины – изучение назначения, конструкции и свойств линий автоматики, телемеханики и связи, их строительства и эксплуатации, взаимных влияний между цепями и влияния внешних электромагнитных полей на цепи автоматики, телемеханики и связи, мер защиты от влияний, основ теории электродинамики направляющих систем.

В результате освоения курса «Линии автоматики, телемеханики и связи», студент должен:

– знать назначение, виды и основные типы линейных сооружений автоматики, телемеханики и связи, а также энергоснабжения на железнодорожном транспорте, их конструктивные, эксплуатационные характеристики, электрические параметры, назначение и область эффективного применения на сетях связи железнодорожного транспорта; основные закономерности распространения электромагнитной энергии по направляющим системам; факторы, определяющие электромагнитную совместимость передачи различных видов сигналов по линиям автоматики, телемеханики и связи железнодорожного транспорта; источники опасных и мешающих влияний, предельно допустимые значения опасных и мешающих напряжений и токов и меры защиты от электромагнитных влияний; технологические процессы при эксплуатации, ремонте и строительстве линейных сооружений, правила техники безопасности при работе на линиях;

– уметь рассчитывать параметры передачи и взаимных влияний цепей автоматики, телемеханики и связи, оценивать характер и рассчитывать значения опасных и мешающих напряжений и токов от влияния внешних электромагнитных полей на цепи воздушных и кабельных линий передачи различных конструкций, выбирать способы защиты; выполнять эксплуатационные измерения цепей и определять характер и место повреждения;

– иметь представление о тенденциях развития техники направляющих систем и перспективах их применения; организации технической эксплуатации, техническом обслуживании и профилактике линейных сооружений; строительстве и монтаже линейных сооружений; проектировании линейных сооружений автоматики и связи; разнородностях высоковольтно-сигнальных линий автоблокировки и линии продольного энергоснабжения, а также способах резервирования.

**2 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

*Тема 1 Направляющие системы.* Содержание и задачи изучения дисциплины, краткий исторический очерк развития линий автоматики, телемеханики и связи. Значение линий автоматики, телемеханики и связи (ЛАТС) в системах управления работой железнодорожного транспорта. Виды направляющих систем (НС), их основные свойства и области применения. Понятие о многоканальных системах передачи по линиям связи и автоматики. Основные требования к направляющим системам. Понятие о сетях автоматики, телемеханики и связи. Особенности технологических сетей железнодорожного транспорта, местные и станционные сети связи и автоматики. Краткая историческая справка по развитию теории надежности. Обеспечение надежности устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи (УЖАТС) на этапах жизненного цикла. Особенности УЖАТС с позиций обеспечения надежности.

*Тема 2 Электромагнитные волны и их уравнения.* Распространение электромагнитных волн по направляющим системам. Классификация сред и их свойства. Типы и классы электромагнитных волн. Электромагнитные процессы в проводниках и диэлектриках. Режимы передачи по направляющим системам. Скорость распространения электромагнитных волн. Основы электродинамики направляющих систем. Передача сигналов по проводным линиям. Особенности электромагнитных процессов в направляющих системах различного вида. Способы увеличения индуктивности кабельных линий.

*Тема 3 Расчет параметров передачи цепей.* Первичные параметры цепей. Первичные параметры цепей симметричных кабелей. Первичные параметры цепей коаксиальных кабелей. Волновые параметры цепей. Определение параметров цепей через параметры среды в зависимости от частоты тока передаваемых сигналов и конструктивных особенностей.

*Тема 4 Кабели автоматики, телемеханики и связи.* Классификация кабелей и их основные конструктивные элементы. Токопроводящие жилы, изоляция, типы скруток, построение сердечника кабеля, влагозащитные оболочки и экранирующие покровы, кабельные материалы. Кабельная арматура

и сооружения. Конструктивные и электрические характеристики симметричных кабелей связи. Магистральные кабели. Кабели автоматики и телемеханики, их типы и марки. Особенности построения кабельных линий для электрифицированных железных дорог. Кабельные сети светофоров, стрелок, рельсовых цепей. Волоконно-оптические кабели. Классификация оптических кабелей. Типы оптических волокон. Конструкции оптических кабелей и их типы. Особенности сращивания строительных длин. Волноводные линии передачи. Классификация волноводов. Конструктивные и электрические характеристики металлических и диэлектрических волноводов, области их применения. Сверхпроводящие кабели. Сверхпроводники и диэлектрики при критических температурах. Конструктивные и электрические характеристики сверхпроводящих кабельных линий. Технико-экономическое сравнение различных типов направляющих систем, перспективы их развития и применения на сетях автоматики, телемеханики и связи железнодорожного транспорта.

*Тема 5 Кабельные линии, магистрали и сети.* Виды кабельных линий. Кабельные линии и сети. Кабельные магистрали связи. Кабельные сети связи на станциях. Кабельные сети напольных устройств автоматики, телемеханики и связи на станциях. Кабельные линии централизованной автоблокировки на переездах. Методы диагностирования состояния кабельных линий.

*Тема 6 Волоконно-оптические линии связи.* Распространение света по оптическому волокну со ступенчатым профилем. Распространение света по градиентному оптическому волокну. Параметры передачи волоконных световодов. Передача сигналов по оптическим кабелям. Физические процессы в оптических кабелях. Падающие, отраженные и преломленные волны. Уравнения геометрической оптики. Пропускная способность оптических кабелей и их параметры передачи. Структурная схема оптической линии передачи.

*Тема 7 Высоковольтно-сигнальные линии.* Воздушные линии связи и высоковольтные линии автоблокировки. Классы и типы линий. Разновидности высоковольтных линий автоблокировки. Провода и арматура. Типы опор. Типовые профили опор и размещение цепей на опорах. Габариты. Способы ввода проводов в промежуточные и усилительные пункты. Переходы и пересечения. Кабельные вставки в воздушные линии. Электрические характеристики воздушных линий. Резервирование питания устройств автоблокировки.

*Тема 8 Основы расчета индуцированных напряжений и токов.* Характеристики влияющих цепей. Особенности влияния на одно- и двухпроводные цепи. Определение индуцированных напряжений и токов опасного и мешающего влияний. Особенности расчетов внешних и взаимных влияний. Коэффициенты связи.

*Тема 9 Взаимные влияния и меры защиты.* Взаимные влияния. Проблемы электромагнитной совместимости в линиях автоматики, телемеханики и связи. Природа взаимных влияний. Параметры влияний: переходное затухание, защищенность, косвенные влияния. Влияния между цепями в различных типах линий передачи. Зависимость переходного затухания от длины цепи и частоты тока передаваемых сигналов. Нормирование переходного затухания. Меры защиты от взаимных влияний. Скрещивание цепей воздушных линий. Скрутка цепей в симметричных кабелях. Способы симметрирования кабельных цепей. Особенности симметрирования низкочастотных и высокочастотных цепей магистральных железнодорожных кабелей.

*Тема 10 Внешние влияния и меры защиты.* Влияния внешних электромагнитных полей на цепи автоматики, телемеханики и связи. Классификация источников влияния и их характеристики. Характеристика цепей, подверженных влиянию: однопроводные и двухпроводные цепи, поперечная и продольная асимметрия, коэффициент чувствительности цепи к помехам, коэффициенты связи. Допустимые значения опасных и мешающих влияний. Атмосферное электричество и его воздействие на линейные сооружения. Меры защиты от внешних влияний. Ферропротия, проводимые на влияющих системах, для уменьшения их индуктивного воздействия на цепи автоматики и связи. Меры защиты от опасных и мешающих напряжений, применяемые на линиях, подверженных влиянию. Особенности защиты линейных сооружений и рельсовых цепей от грозовых разрядов, устройство защитных заземлений и их особенности. Схемы защиты устройств автоматики, телемеханики и связи.

*Тема 11 Проектирование и строительство линий автоматики, телемеханики и связи.* Состав проекта. Технико-экономическое обоснование выбора проектируемой линии. Выбор вида, типа и трассы линии. Строительство линий. Разбивка трассы, рытье котлованов и траншей, прокладка и монтаж кабеля. Механизация строительства. Техника безопасности при строительстве линий.

*Тема 12 Техническое обслуживание линий автоматики, телемеханики и связи.* Защита подземных кабелей от коррозии. Виды коррозии. Определение опасности коррозии и меры защиты. Задачи и проблемы технической эксплуатации линий автоматики, телемеханики и связи железнодорожного транспорта. Методы отыскания мест и характера повреждений линии. Содержание кабелей под избыточным давлением. Надежность линейных сооружений. Охрана труда при эксплуатации линий.

## СОДЕРЖАНИЕ

Общие указания по выполнению лабораторных работ .....	3
<i>Лабораторная работа № 1</i> Изучение оборудования высоковольтных линий автоблокировки .....	5
<i>Лабораторная работа № 2</i> Импульсный метод определения повреждений в линиях автоматики, телемеханики и связи .....	21
<i>Лабораторная работа № 3</i> Определение параметров оптического кабеля... ..	30
Список рекомендуемой литературы.....	42
<i>Приложение А</i> Рабочая программа по дисциплине для студентов ФБО.....	43

Учебное издание

*БЕРЕЗНЯЦКИЙ Юрий Фёдорович*  
*СЕРЕНКОВ Анатолий Григорьевич*  
*САВКО Олег Владимирович*

### ЛИНИИ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНИКИ И СВЯЗИ

Лабораторный практикум  
Часть 1

Редактор *Т. М. Ризевская*  
Технический редактор *В. Н. Кучерова*

Подписано в печать 22.12.2009 г. Формат 60×84  $\frac{1}{16}$ .  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать на ризографе.  
Усл. печ. л. 2,56. Уч.-изд. л. 2,53. Тираж 350 экз.  
Заказ № . Изд. № 109.

Издатель и полиграфическое исполнение  
Белорусский государственный университет транспорта:  
ЛИ № 02330/0552508 от 09.07.2009 г.  
ЛП № 02330/0494150 от 03.04.2009 г.  
246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**  
**УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ**  
**«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»**

**Кафедра автоматике и телемеханики**

**Ю. Ф. БЕРЕЗНЯЦКИЙ, А. Г. СЕРЕНКОВ, О. В. САВКО**

**ЛИНИИ АВТОМАТИКИ,  
ТЕЛЕМЕХАНИКИ И СВЯЗИ**

**Лабораторный практикум**

**Часть 1**

**Гомель 2009**