

**АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ**

УДК 656.254:153

*В. Г. ШЕВЧУК, доцент, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, О. Г. ПАВЛОВ, магистр технических наук, Белорусская железная дорога*

**АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ МУЛЬТИПЛЕКСОРОВ  
В ПРОЦЕССЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Рассматриваются характерные для участков Белорусской железной дороги проблемы функционирования проводных цифровых систем связи, выявленные в процессе эксплуатации мультимплексоров. Рассматриваются вопросы синхронизации проводных цифровых систем связи на участке железной дороги. Показано, что проводные цифровые системы связи имеют очевидные преимущества по отношению к аналоговым системам, заключающиеся в большей пропускной способности, меньшей подверженности влияющим факторам, гибкой системе резервирования каналов и направлений, большей надежности системы в целом.

На участке железной дороги, в частности Могилевской дистанции сигнализации и связи, функционируют различные системы передачи информации: аналоговые, цифровые PDH и SDH-иерархий. Проводные системы передачи информации эксплуатируются как российского производства, так и других стран. При этом каждая имеет определенные качественные и количественные характеристики. В процессе функционирования цифровых систем выявляются определенные преимущества и недостатки каждой из них. Рассмотрим характерные проблемы в работе цифровых систем передачи информации PDH-уровня по магистральным кабелям с медными жилами, в частности первичных мультимплексоров потока E1: ОГМ-30Е производства ОАО «Морион» [1]. Для увеличения дальности передачи и помехозащищенности используется оборудование линейного тракта, работающего по технологии HDSL.

Оборудование гибкого мультимплексирования ОГМ-30Е представляет собой аппаратуру временного объединения сигналов электросвязи и предназначено для формирования первичных цифровых потоков E1 со скоростью передачи информации 2048 кбит/с из аналоговых сигналов телефонных каналов (совместно с сигналами управления и взаимодействия), а также из сигналов каналов передачи данных с различными интерфейсами. Структурная схема организации связи на участке

Кричев – Госграница РФ с использованием аппаратуры ОГМ-30Е представлена на рисунке 1.

ОГМ-30Е содержит систему автоматического эксплуатационного контроля и сигнализации, которая обеспечивает получение информации о текущем состоянии аппаратуры и индикацию возникших в процессе работы неисправностей. Система контроля оборудования может работать в автономном режиме (с использованием индикаторов, встроенных в составные части оборудования), в режиме местного контроля с использованием персонального компьютера, а также в режиме удаленного контроля при объединении однотипных блоков в локальную сеть. Функции, выполняемые данным оборудованием, зависят в первую очередь от типа установленных плат. На основании сведений, полученных от системы мониторинга и в процессе эксплуатации, выявлены характерные повреждения данного типа аппаратуры.

На рисунке 2 представлена гистограмма, показывающая процентное соотношение количества повреждений различных функциональных блоков данной аппаратуры за 12 месяцев наблюдений, а именно: оборудования линейного тракта ОЛТ-Е1 (включая НРП), первичного мультимплексора ОГМ-30Е, блока электропитания КГП-60-10, магистрального кабеля МКСАШП 7×4×1,2.

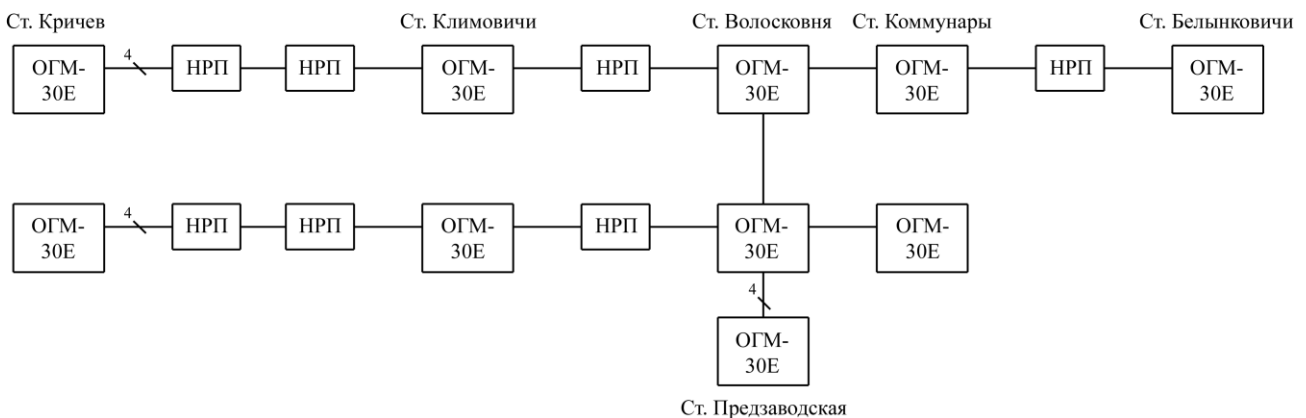


Рисунок 1 – Структурная схема организации первичной сети

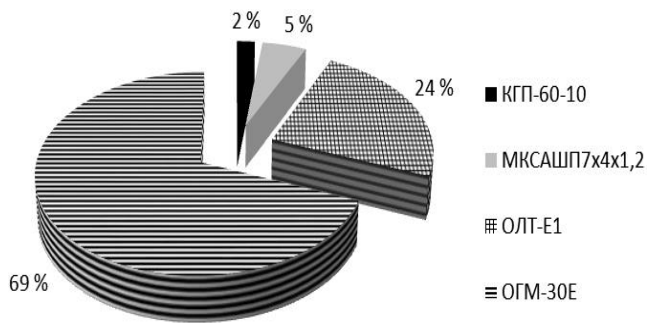


Рисунок 2 – Распределение повреждений проводной системы передачи информации

Наибольшее количество повреждений за период наблюдений относится к первичному мультиплексору потока Е1, далее следует оборудование линейного тракта ОЛТ-Е1. Наименьшее количество повреждений за текущий период было обнаружено у устройства электропитания КГП-60-10. Повреждения в работе имеют различный характер, от сбоя программного обеспечения до порыва кабельных коммуникаций. Причины появления их – разнообразны.

Проведем анализ основных повреждений, возникающих в процессе функционирования оборудования первичного мультиплексора ОГМ-30Е, их возникновения и устранение во времени. В таблице 1 представлено количественное соотношение основных видов повреждений мультиплексора ОГМ-30Е за все время наблюдений в течение 12 месяцев, полученных от системы мониторинга и управления.

Таблица 1 – Характерные повреждения мультиплексора ОГМ-30Е

Характер повреждения	Количество повреждений
Нарушение целостности магистрального кабеля	15
Коэффициент ошибок более $10^{-3}$	40
Нет ответа	45
Потеря синхронизирующего сигнала	18
Прием сигнала «Извещение»	36
Потеря цикловой синхронизации	120
Потеря сверхцикловой синхронизации	70
Несоответствие конфигурации	36
Прочие повреждения	40

Данные повреждения имеют разнообразные причины возникновения. Система мониторинга фиксирует все отклонения в работе мультиплексора. Отклонения могут быть вызваны как повреждением самого мультиплексора, так и повреждениями входящих в систему передачи информации составных частей: ОЛТ-Е1, КГП-60-10, МКСАШП 7×4×1,2. При этом фиксируется как повреждение самого первичного мультиплексора. Как видно из диаграммы, наиболее распространенными повреждениями являются сбой синхронизации мультиплексора как тактовой, так и сверхцикловой, а также превышение коэффициента ошибок более допустимой величины. Кроме этого распространенным является

сбой, который ведет к невозможности дистанционного контроля и управления мультиплексором. Сбой программного обеспечения ведет к полной неработоспособности оборудования.

Характер повреждений не остается постоянным в течение года, месяца. Наибольшее количество повреждений приходится на теплое время года, это, прежде всего, связано с грозовой активностью, большой интенсивностью технологических процессов на железнодорожном транспорте, повышенной влажностью и другими факторами. На рисунке 3 представлена гистограмма распределения повреждений мультиплексора ОГМ-30Е по месяцам в течение одного года наблюдений.

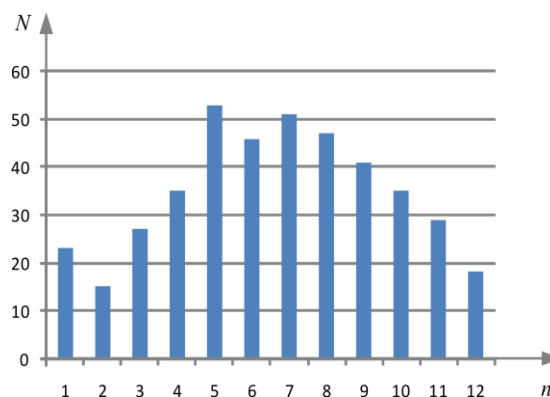


Рисунок 3 – Гистограмма распределения повреждений по месяцам мультиплексора ОГМ-30Е: N – количество повреждений, n – порядковый номер месяца в году

Из представленной гистограммы видно, что наибольшее количество повреждений нормальной работы оборудования происходит в летние месяцы года. Причем в это время повреждения в большинстве случаев приводят к полной потере работоспособности оборудования и требуют выезда обслуживающего персонала для устранения отказов непосредственно на место повреждения. Электромагнитные влияния на аппаратуру приводят к различным повреждениям.

Наиболее распространенным случаем является сбой программного обеспечения управляющего микроконтроллера, самопроизвольное изменение конфигурации оборудования, «зависание» различных микроконтроллеров, блокировка линейных окончаний интерфейсных плат и другие.

Следующим видом повреждений при воздействии электромагнитного поля является электрическое повреждение оборудования и требует соответствующего ремонта. Интенсивность повреждений постепенно снижается по мере спада грозовой активности, снижения интенсивности технологических процессов по обслуживанию железнодорожного транспорта. Остаются повреждения оборудования, которые не зависят от перечисленных факторов.

Аппаратура линейного тракта ОЛТ-Е1 предназначена для уплотнения кабелей с медными жилами парной или четверочной скрутки и передачи цифрового потока Е1.

Проанализируем функционирование оборудования линейного тракта. По количеству повреждений данное оборудование занимает второе место в цифровой проводной системе передачи информации, после мультип-

лектора. На рисунке 5 представлена гистограмма, показывающая соотношение основных видов повреждений линейного тракта, включая НРП. Характер повреждений определялся на основании анализа информации, поступающей от устройства считывания ошибок (УСО) линейного тракта ОЛТ-Е1.

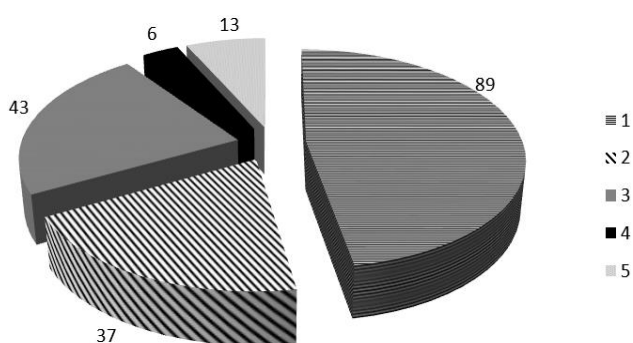


Рисунок 4 – Распределение повреждений оборудования линейного тракта ОЛТ-Е1:

- 1 – ошибки линейного сигнала; 2 – пропадание сигнала линии;
- 3 – отключение дистанционного питания;
- 4 – отсутствие служебной связи; 5 – прочие повреждения

Наиболее распространенным повреждением оборудования линейного тракта является превышение коэффициента ошибок более установленной критической величины  $10^{-3}$ . Это в первую очередь связано с условиями эксплуатации оборудования на участке железной дороги, в частности с повышенной степенью воздействия разнообразных помех как электромагнитных, так и механических.

Возникновение ошибок в линейном тракте приводит к возникновению ошибок и их индикации в первичном мультиплексоре ОГМ-30Е. В результате работа системы передачи информации становится невозможной. Пропадание сигнала HDSL возможно в результате нарушения целостности коммуникаций (кабеля) или при нарушении работы программного обеспечения управляющих микроконтроллеров.

Очень часто в летние месяцы защитой отключается дистанционное питание НРП в результате воздействия мощных электромагнитных импульсов молнии, обрывов высоковольтных линий автоблокировки.

Распределение количества повреждений линейного тракта по месяцам года можно представить в виде гистограммы на рисунке 5.

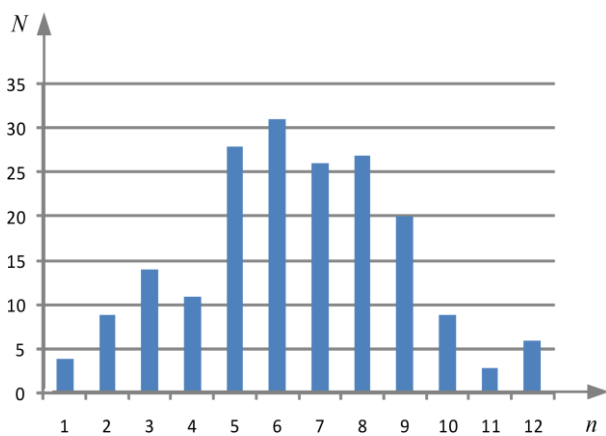


Рисунок 5 – Гистограмма распределения повреждений по месяцам ОЛТ-Е1

Как видно из гистограммы, распределение повреждений имеет неравномерный характер. Как было отмечено выше, это связано с повышенным воздействием влияющих факторов в теплое время года. В данный период года интенсивность воздействия помех возрастает и, как следствие, возрастает количество поврежденных оборудования. Основными повреждениями в данный период являются: аварийное отключение дистанционного питания и превышение предельно допустимого значения коэффициента ошибок.

Кроме того, происходили такие случаи, когда из-за нарушения целостности кабеля, становилась невозможной работа линейного тракта, сигнализировалась неисправность «Отсутствие сигнала линии». Линейный тракт первичного мультиплексора ОГМ-30Е имеет высокую помехозащищенность. Благодаря этому удается уменьшить время простоя оборудования, улучшить качественные показатели работы системы в целом и обеспечить бесперебойную передачу необходимой информации.

В течение всего периода наблюдений на цифровую проводную систему связи воздействовали различные источники воздействий как внутренние, так и внешние, в частности механической и электромагнитной природы.

Каждый вид воздействия вызывает определенные повреждения в оборудовании проводной системы передачи информации. Результаты исследования основных влияющих факторов можно представить в виде таблицы 2. В таблице представлено количество повреждений, вызванных определенным типом воздействий за исследуемый период, который равен 12 месяцам.

Таблица 2 – Виды влияющих факторов и количество повреждений

Влияющий фактор	Количество повреждений
Атмосферное электричество	104
Железнодорожный транспорт (механические воздействия)	92
Соседние линии связи и СЦБ	87
Высоковольтные линии автоблокировки	68
Ошибки обслуживающего персонала	75
Заводской брак производителя	13
Внутренние источники	59
Прочие причины	32

Наибольшую опасность для стабильной работы проводной системы связи, работающей по кабелям с медными жилами, представляют внешние воздействия. Это подтверждают результаты исследования работы системы передачи ОГМ-30Е на участке железной дороги.

Анализ полученных результатов также показывает, что наиболее распространенными влияниями на работу проводных цифровых систем передачи являются электромагнитные влияния молнии в период грозовой активности, механические влияния железнодорожного транспорта, электромагнитные влияния соседних ком-

муникаций связи, СЦБ и высоковольтных линий энергоснабжения.

Немаловажным фактором в процессе работы систем является эксплуатационный персонал дистанции. Из-за недостаточной квалификации, отсутствия необходимых теоретических и практических знаний и навыков, опыта работы с цифровыми системами передачи, происходит нарушение бесперебойной работы цифрового оборудования. Поэтому ошибки обслуживающего персонала также оказывают некоторое влияние на работоспособность цифровых систем. Остальные виды оказывают мешающие воздействия в меньшей мере, хотя их влияния также опасны.

Наиболее опасными, с точки зрения восстановления работоспособности первичной сети связи, являются электромагнитные влияния и механические воздействия. Электромагнитные воздействия с большой интенсивностью и энергией оказывают разрушающее действие на полупроводниковые элементы, из которых построены все цифровые системы передачи. Такие воздействия на железнодорожном транспорте возникают в результате ударов молнии вблизи кабельных линий, станционных сооружений, в которых расположена аппаратура, а также в результате повреждения высоковольтных линий или нарушения их правильного функционирования. Также электромагнитные влияния нарушают процесс достоверного приема и передачи информации, приводят к сбою работы управляющего программного обеспечения, блокировке отдельных каналов связи из-за возросшего количества ошибок.

Механические воздействия на железной дороге также имеют различный характер. В большинстве случаев происходит повреждение коммуникаций (порыв кабелей). Причинами нарушений работы систем передачи информации являются: несанкционированные земляные работы сторонних организаций, работы по техническому содержанию и ремонту железнодорожных путей, мародерские действия населения и др.

Значительные влияния на надежность первичной сети связи оказывают также механические вибрации, возникающие в результате прохождения подвижного состава по путям. Это приводит с течением времени к нарушению качества электрических контактов (повышение переходного сопротивления) в различных блоках оборудования, а в некоторых случаях и к полной потере. В проводных цифровых системах связи для обеспечения согласованной работы используются специальные меры синхронизации между приемными и передающими станциями.

Задающие генераторы и формирователи синхросигналов на передаче, выделители тактовой частоты в регенераторах и промежуточных станциях, приемники синхросигналов на приемном конце – обеспечивают синхронную работу каждой цифровой системы связи.

На участке железной дороги существуют как синхронные, так и плезиохронные цифровые сети. Каждая такая сеть требует определенного режима синхронизации. При этом к синхронным сетям предъявляются более жесткие требования к синхронизации по сравнению с плезиохронными сетями. Как известно, существуют два вида синхронизации: тактовая (позлементная) и цикловая, каждый тип устанавливает определенные временные соотношения между элементами сети. Кри-

терием качества синхронизации сети служит величина проскальзываний, взятых за определенный период времени. Определяет качество синхронизации и стабильность частоты первичного задающего генератора, который является источником эталонного сигнала.

От системы синхронизации зависит возможность безотказной работы всей цифровой сети связи.

На участке железной дороги на качество синхронизации оказывают влияние большое количество возмущающих факторов. Действие влияющих факторов во времени не остается постоянным. Интенсивность и вид воздействий изменяется в течение дня, месяца, года.

Опасность возмущающих факторов состоит в том, что они приводят к нарушению синхронизма между отдельными узлами сети, и работа всей сети становится невозможной. При этом качество предоставляемых абонентам услуг существенно снижается, возникает опасность нарушения технологического процесса на железнодорожном транспорте.

Соотношение основных воздействий, приводящих к нарушению синхронизации, представлено в виде диаграммы в таблице 3.

**Таблица 3 – Соотношение воздействующих факторов на синхронизацию**

Наименование воздействия	Нарушения синхронизации, %
Неточности кодирования	7
Влияние среды распространения	32
Сбой оборудования и программного обеспечения	28
Переключения аппаратуры	13
Старение электронных элементов	3
Изменение температуры окружающей среды	4
Изменение параметров электропитания	9
Прочие влияния	4

Из таблицы видно, что наиболее распространенными воздействиями, оказывающими влияние на процессы синхронизации цифровой системы связи, являются сбой оборудования и программного обеспечения, а также переключение режимов работы аппаратуры и среда распространения сигнала.

Наиболее существенным влияющим фактором является среда распространения сигнала. Воздействие внешних и внутренних источников возмущения на среду передачи приводит к изменению её параметров, что в свою очередь изменяет условия распространения полезных сигналов, что в итоге приводит к нарушению процессов синхронизации и делает работу цифровой системы невозможной или качество предоставляемых услуг ухудшается [4]. Это связано с большой линейной протяженностью среды распространения.

Воздействие источников помех приводит к увеличению количества проскальзываний. Связь между проскальзываниями и качеством трафика можно представить в виде рисунка 6. На нем представлено, каким образом воздействия приводят к ухудшению качества трафика и синхронизации и приводят к ухудшению качества предоставляемых услуг.

В каналах телефонной и технологической связи ухудшения проявляются в виде щелчков в трубке, при передаче видеосигналов “проскальзывания” проявля-

ются в виде замораживания изображения. Нарушение синхронизации при передаче данных приводит к снижению пропускной способности используемых каналов.

На участке железной дороги к процессам синхронизации цифровых систем связи предъявляются повышенные требования. Это связано с условиями повышенного воздействия различных факторов на процесс функционирования данных систем.

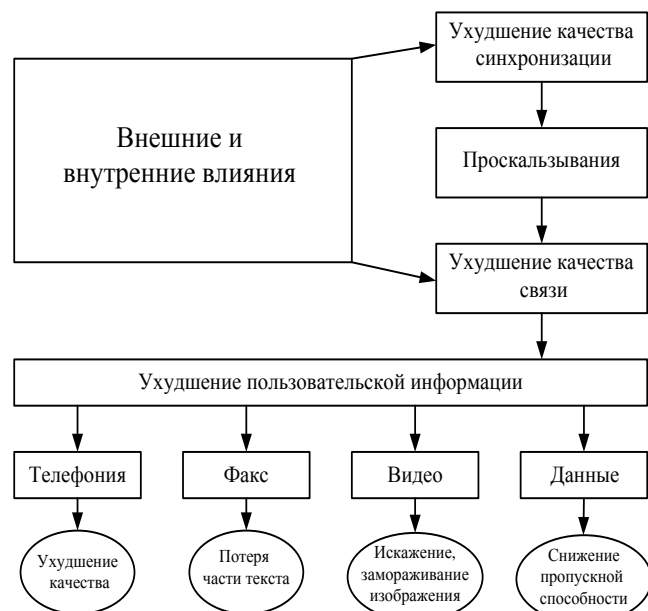


Рисунок 6 – Схема воздействий на качество связи

Частота появления проскальзываний является одним из основных критериев качества цифровой сети. Частоту проскальзываний можно определить по формуле

$$N_c = N_{ц} S \left( \frac{\Delta f}{f_n} \right), \quad (1)$$

где  $N_c$  – число проскальзываний за сутки;  $N_{ц}$  – число циклов в секунду;  $S$  – число секунд в сутках;  $\Delta f/f_n$  – относительная нестабильность частоты.

При длительности цикла первичного цифрового канала, равном 125 мкс, число циклов в секунде составляет 8000. При этом в сутках 86400 с, формула (1) сводится к выражению

$$N_c = 6,9 \cdot 10^8 \left( \frac{\Delta f}{f_n} \right).$$

Количество нарушений синхронизации и связанные с этим перебои предоставления услуг связи системы ОГМ-30Е за период 12 месяцев представим в виде диаграммы на рисунке 7.

В цифровой системе связи ОГМ-30Е проскальзывания проявляются в виде сбоя цикловой и сверхцикловой синхронизации, вследствие чего нарушается качество передаваемой информации.

Из рисунка 7 видно, что количество проскальзываний в течение года не остается постоянным, максимум приходится на летние месяцы. Это связано с причинами, рассмотренными выше. Поэтому количество проскальзываний зависит не только от нестабильности час-

тоты задающих генераторов, но и от воздействия внешних и внутренних факторов.

Кроме того, причиной неуправляемых проскальзываний могут служить фазовые дрожания тактовых сигналов синхронизации, которые проявляются в виде джиттера или вандера (блужданий). Вследствие целого ряда причин фронты информационных цифровых сигналов при их передаче по линии подвержены фазовым дрожаниям, которые переходят в фазовые дрожания выделенных сигналов синхронизации 2048 кГц. Каждый регенератор или мультиплексор, с одной стороны, ведет себя по отношению к входному сигналу как фильтр, а с другой – является источником фазовых дрожаний. Поэтому при прохождении цифрового сигнала через цепочку сетевых элементов происходит их накопление. Для цифровой системы связи ОГМ-30Е характерен плезиохронный режим синхронизации. Исходя из представленной диаграммы, данный режим синхронизации поддерживается в различных промежутках времени в течение года наблюдений.

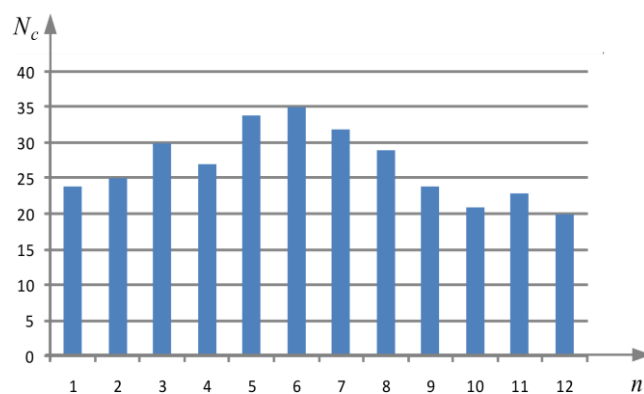


Рисунок 7 – Распределение проскальзываний в течение года:

$N_c$  – количество нарушений процесса синхронизации,  $n$  – номер месяца

Система тактовой сетевой синхронизации (ТСС) железнодорожного транспорта представляет собой разветвленную сеть формирования, доставки и распределения сигналов синхронизации. Характерной особенностью ТСС является большое количество ВЗГ [3]. Это связано с большим количеством обособленных цифровых участков сети на железнодорожном транспорте и с большой протяженностью линейных сооружений связи вдоль железной дороги. Надежность и живучесть системы синхронизации в целом гарантируется однородностью сети связи, наличием прямых и резервных путей синхронизации, кольцевых структур, а также дополнительных сигналов от различных приемников, входящих в состав ВЗГ. Сети технологической связи, выходящие за пределы одной зоны синхронизации, целесообразно разделять на участки и синхронизировать каждую часть от источников, находящихся внутри сети.

Сеть технологической связи железной дороги включает оперативно-технологическую связь, общетехнологическую, и сеть передачи данных, в частности ЕСПД. Все они используют каналы первичной сети, построенной из цифровых систем связи, для нормального функционирования которых необходима тактовая

синхронизация. Данный вид синхронизации является основополагающим для функционирования цифровых систем и делает их работу возможной. Система синхронизации должна быть рассчитана на работу в условиях оперативной перестройки сетей в процессе эксплуатации, не ухудшая при этом живучести цифровых сетей и не сдерживая их развития.

Были рассчитаны величины коэффициента готовности аппаратуры и составных частей тракта связи, приведенные в таблице 4.

Цифровые системы связи SDH-иерархии, работающие по волоконно-оптическим кабелям связи [2], наиболее часто используются для организации магистральных, зонных сетей, т. е. там, где требуется высокая скорость передачи информации, имеется высокая емкость информационного потока.

Таблица 4 – Коэффициенты готовности

Наименование аппаратуры и составных частей тракта связи	Среднее время наработки на отказ, ч	Значение коэффициента готовности
ОЛТ-Е1 (включая НРП)	495859,322	0,99993
КГП-60-10	97232,744	0,99974
ОГМ-30Е	1684222,453	0,99999
МКСАШ <sub>п</sub> 7×4×1,2	56450,376	0,99968

На участке Могилев – Жлобин система связи на основе мультиплексоров SMA и FMX является составной частью информационной системы Белорусской железной дороги. Участок железной дороги, на котором располагается цифровая система связи, имеет повышенный уровень внешних воздействующих факторов.

Как было отмечено, влияющие факторы могут быть различной природы и интенсивности воздействия: повышенный уровень механических, электромагнитных, химических и других воздействий. Результат этих воздействий также может быть разнообразным: полное нарушение связи или частичное с ограниченными возможностями, также может быть ухудшение качества предоставляемых услуг с сохранением работоспособного состояния.

На другом участке Могилевской дистанции сигнализации и связи эксплуатируется цифровая система

связи PDH иерархии ОГМ-30Е с использованием медножильного симметричного кабеля.

Цифровая система связи PDH-иерархии по результатам проведенных исследований за период наблюдений испытывала большее количество нарушений работоспособности по сравнению с системой SDH-иерархии. Характер нарушения работоспособного состояния отличался. Система связи плезиохронной иерархии более подвержена влиянию электромагнитного поля как линейно-кабельных сооружений, так и станционного оборудования, в связи с большой протяженностью кабелей. Также система PDH-иерархии имеет большее количество линейных регенераторов, что увеличивает вероятность нарушения работы системы связи в целом. Данные регенераторы используют систему дистанционного питания постоянного тока, организованную по информационным парам, что также снижает живучесть системы. В результате чего цифровая система связи имеет очевидные преимущества, которые заключаются в большей пропускной способности, меньшей подверженности влияющих факторов, гибкой системе резервирования каналов и направлений, большей надежностью системы в целом и другие.

#### Список литературы

- 1 Техническое описание гибкого мультиплексора ОГМ – 30Е / Морион. – Пермь, 2005. – 273 с.
- 2 **Здоровцов, И. А.** Основы теории надежности волоконно-оптических линий передачи железнодорожного транспорта: [монография] / И. А. Здоровцов, В. Ю. Королев. – М. : МАКС Пресс, 2004. – 308 с.
- 3 Концепция повышения безопасности движения на основе применения на железных дорогах многофункциональных комплексных систем регулирования движения поездов. – М. : ОАО «РЖД», 2006. – 150 с.
- 4 **Шевчук, В. Г.** Проблемы работы проводных цифровых систем связи на участке железной дороги / В. Г. Шевчук, О. Г. Павлов, В. В. Половинкин // Современные средства связи: материалы Междунар. науч.-техн. конф. – Мн., 2011.

Получено 21.10.2011

#### **V. G. Shevchuk, O. G. Pavlov.** Failure analysis of the main multiplexer in the course of their operation.

The characteristic for the sites of the Belarusian Railways performance issues of wired digital communication systems identified during the operation of multiplexers. The issues of synchronization of digital wired communication systems at the site of the railway. It is shown that the wireline digital communication system has obvious advantages in relation to analogue systems, which consist of more bandwidth, less exposure to the influencing factors, flexible reservation system of canals and areas greater reliability of the system as a whole.