

УДК 004.054

Старцев Юрий Валентинович,
доцент кафедры автоматизированных систем управления
Уфимского университета науки и технологий

Россия, г. Уфа

Приходько Владимир Евгеньевич,
Директор по исследованиям и разработкам

АО «НИИ «Солитон»

Россия, г. Уфа

Гришанова Наталья Александровна,
студентка

5 курс, факультет информатики и робототехники

Уфимского университета науки и технологий

Россия, г. Уфа

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МОНИТОРИНГ И РЕЗЕРВИРОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

Аннотация: рассматриваются вопросы мониторинга состояния оптических линий связи и резервирования оптических линий. Разработаны мнемосхемы существующего и предлагаемого процессов мониторинга, показывающие взаимодействия их объектов и субъектов. Целесообразность автоматизации процессов мониторинга состояния оптических линий связи и их резервирования подтверждена математическими моделями в виде сетей Петри.

Ключевые слова: автоматизация, автоматизированная информационная система, оптимизация бизнес-процессов, оптоволокно, оптические линии связи, мониторинг, оптический рефлектометр, резервирование.

Annotation: *issues of monitoring the state of optical communication lines and redundancy of optical lines are considered. Mnemonic schemes of existing and proposed monitoring processes were developed, showing the interaction of their objects and subjects. The feasibility of automating the processes of monitoring the state of optical communication lines and their redundancy is confirmed by mathematical models in the form of Petri nets*

Keywords: *automation, automated information system, optimization of business processes, fiber optics, optical communication lines, monitoring, optical OTDR, redundancy.*

Введение

В современном мире передача информационных потоков по волоконно-оптическим линиям связи (ВОЛС) имеет значительные преимущества по сравнению с передачей данных посредством медного кабеля. Например, это хорошая пропускная способность, возможность получения высоких скоростей передачи информации, безопасность передачи данных, малый вес, низкая стоимость. Но всегда есть риски повреждения, старения и деградации оптоволокна. Возможен также перехват информации в проводных линиях, что способствует утечке критических данных или их потере.

ВОЛС могут быть проложены в труднодоступных местах, поэтому осуществление удалённого мониторинга с возможностью определения места неисправности и переключению на резервный исправный кабель является актуальным методом повышения надежности передачи данных. Актуальность автоматизации процесса мониторинга ВОЛС и их резервирования обусловлена тем, что своевременное проведение мероприятий по предотвращению аварийных ситуаций возможно только при наличии информации о состоянии оптоволокна, а реализация переключения сигнала с

неисправных волокон на резервные полностью исключает ситуацию с отсутствием связи.

Объект автоматизации

Сети передачи данных на основе ВОЛС могут иметь различную архитектуру, однако это непринципиально для решения вопросов мониторинга и резервирования ВОЛС. Рассмотрим простую иерархическую архитектуру сети, часто используемую на практике.

Пусть существует сеть удалённых пунктов управления, имеющих иерархическую структуру подчинения и связей (Рисунок 1).

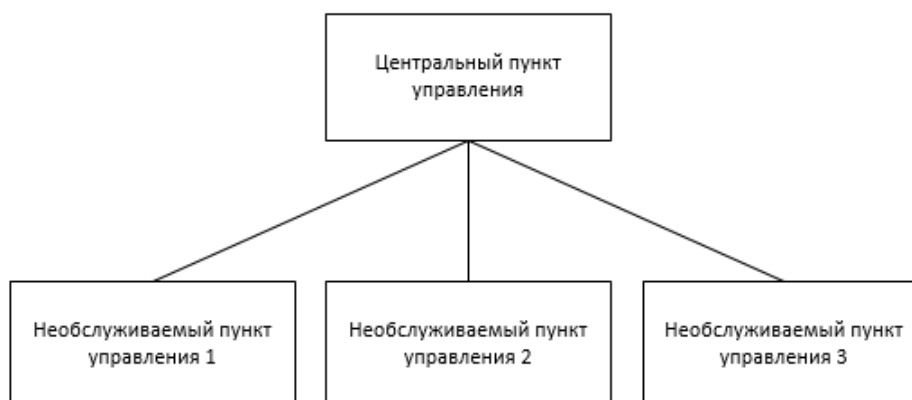


Рисунок 1. Архитектура сети пунктов управления

Пункты управления – стационарные объекты (здания, сооружения), содержащие в себе оборудование управления и средства связи.

Пункты управления делятся на **обслуживаемые** и **необслуживаемые**. Обслуживаемыми являются те пункты, в которых помимо охранной службы работают операторы и инженеры для поддержки рабочего состояния оборудования. Необслуживаемые же территориально разбросаны и находятся в труднодоступных местах.

Центральный пункт управления подключен к остальным пунктам посредством ВОЛС и обслуживается оператором. Оператор производит ручной мониторинг оптоволокна. Происходит это следующим образом. Для

осуществления проверки состояния оптоволоконна используется оптический рефлектометр. Оператор взаимодействует напрямую с оптоволоконном, подключая поочередно каждый патч-корд из оптического кросса к рефлектометру. На рефлектометре устанавливаются параметры для проверки и запускается мониторинг. Далее оператор получает рефлектограммы и снимает с них показания, записывая все это в файл таблицы Microsoft Excel для анализа и формирования сводки данных по проверке. Файлы с аналитическими данными по результатам мониторинга сохраняются в управляющей ЭВМ (УВМ) и передаются инженеру, который по ним решает, есть ли неисправность в оптоволоконне, и целесообразно ли проводить ремонтные работы. Весь этот процесс производится по графику мониторинга, который составляется начальником центрального пункта управления.

На рисунке 2 представлена мнемосхема существующего процесса мониторинга, составленная по описанию выше.

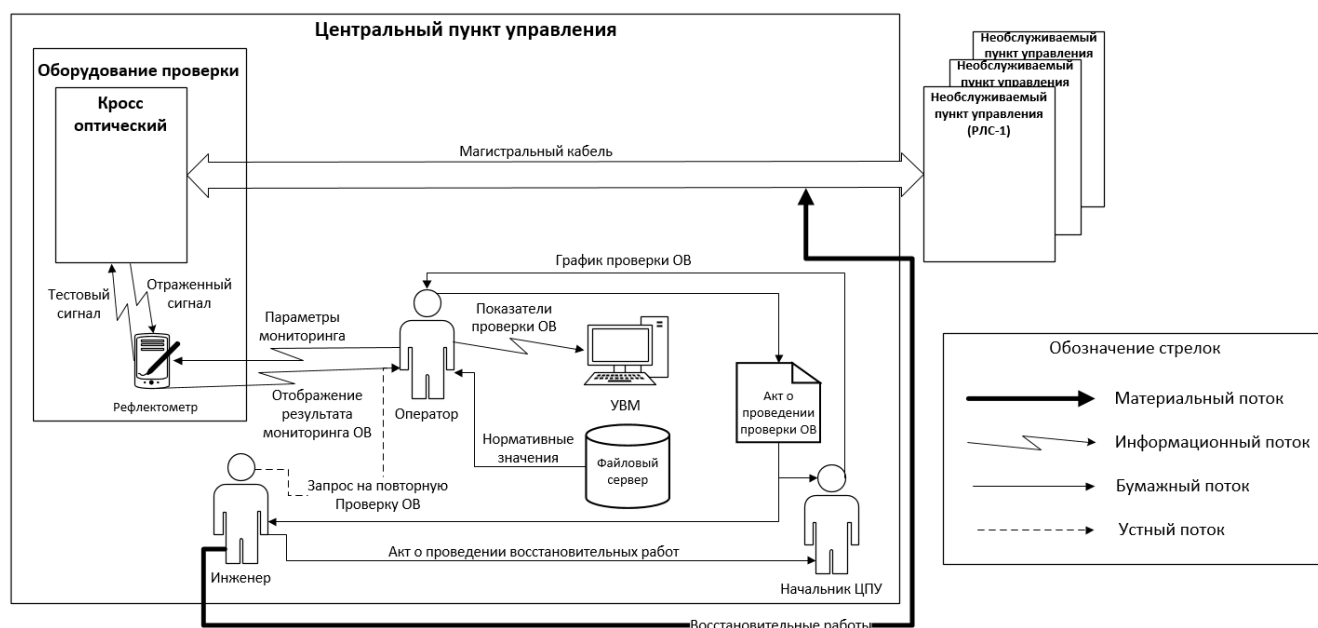


Рисунок 2. Мнемосхема существующего процесса мониторинга ВОЛС

Здесь оптическим кроссом является пассивное устройство, предназначенное для организации разъёмного соединения между многоволоконным оптическим кабелем и оборудованием проверки.

В существующем процессе мониторинга установка и снятие параметров проверки производится оператором вручную. В случае обрыва или неисправности оптоволоконного сигнала не передается по каналу связи. Тогда ремонтной бригаде (инженеру) необходимо в срочном порядке выезжать на место неисправности и проводить восстановительные работы. Мероприятия по ремонту оптоволоконного кабеля занимают большое количество времени. Из всего сказанного можно сделать вывод, что необходимо внедрить систему мониторинга, которая проверяла бы состояние оптоволоконного кабеля в автоматическом режиме и по результатам проверки принимала решение о переключении на резервный кабель.

Автоматизация мониторинга ВОЛС и резервирование

Для повышения надежности передачи данных в сети пунктов управления, соединенных оптическим волокном, и исключения перерывов в связи предлагается внедрить систему автоматизированного мониторинга и резервирования оптических линий. Такая система должна реализовывать функции циклической/выборочной проверки состояния оптоволоконного кабеля в кабеле и осуществить автоматическое переключение на резервный кабель в случае обнаружения обрыва в одном из волокон основного кабеля.

Основную и резервную ВОЛС заблаговременно прокладывают по независимым трассам. Например, один кабель прокладывается по эстакаде, другой – в подземном канале [4].

С целью повышения надежности передачи данных должна быть разработана Автоматизированная информационная система мониторинга оптических линий (АИСМОЛ), которая представляет собой совокупность оборудования для осуществления проверки работоспособности оптоволоконного кабеля и резервирования оптоволоконного кабеля.

В предлагаемом процессе мониторинга начальник центрального пункта управления составляет график проверок оптоволоконна для оператора. Оператор по графику проводит мониторинг оптических линий через внедренную АИСМОЛ, настраивая изначально только параметры проверки. После установки нормативных значений запускается проверка в автоматическом режиме. АИСМОЛ сразу связывается с комплексом оборудования, посылая сигнал на проведение мониторинга, и далее считывает результаты проверки. За процессом следит оператор, он имеет возможность просматривать карту сети пунктов управления, рефлектограммы каждого оптоволоконна и полученные результаты мониторинга. По итогам проверки оператором формируется аналитическая отчетность по результатам мониторинга. Этот отчет также просматривается начальником центрального пункта управления для возможных изменений в графике мониторинга оптоволоконна. На рисунке 3 представлена мнемосхема предлагаемого процесса мониторинга, составленная по этому описанию.

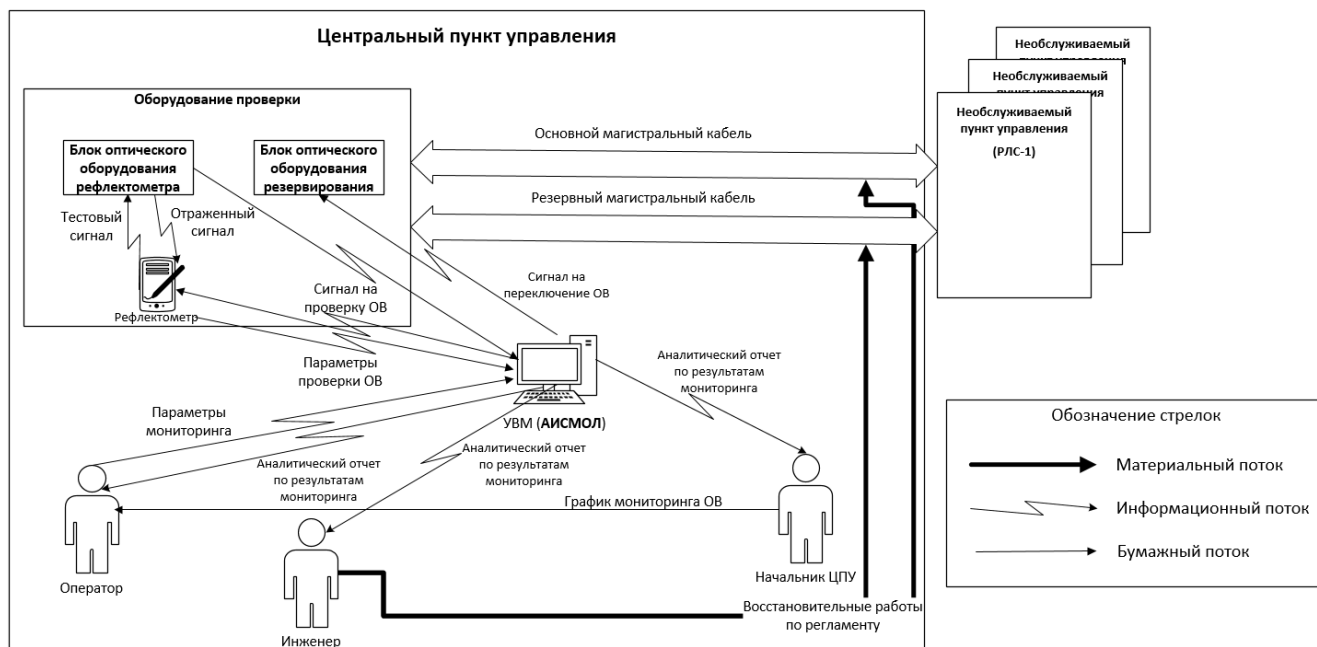


Рисунок 3. Мнемосхема предлагаемого процесса мониторинга ВОЛС

В данной мнемосхеме процесс восстановительных работ опущен, так как при возможном обрыве оптоволоконна происходит переключение на резервный

кабель, что предотвращает перерыв в связи. Следовательно, нет необходимости в срочном ремонте поврежденного оптоволокну в магистральном кабеле. Но это не значит, что восстанавливать его работоспособность не будут. Канал связи восстановят в рамках регламентных работ, которые обычно проводятся ежемесячно.

На рисунке 4 представлена структурная схема оборудования для реализации описываемого процесса мониторинга.

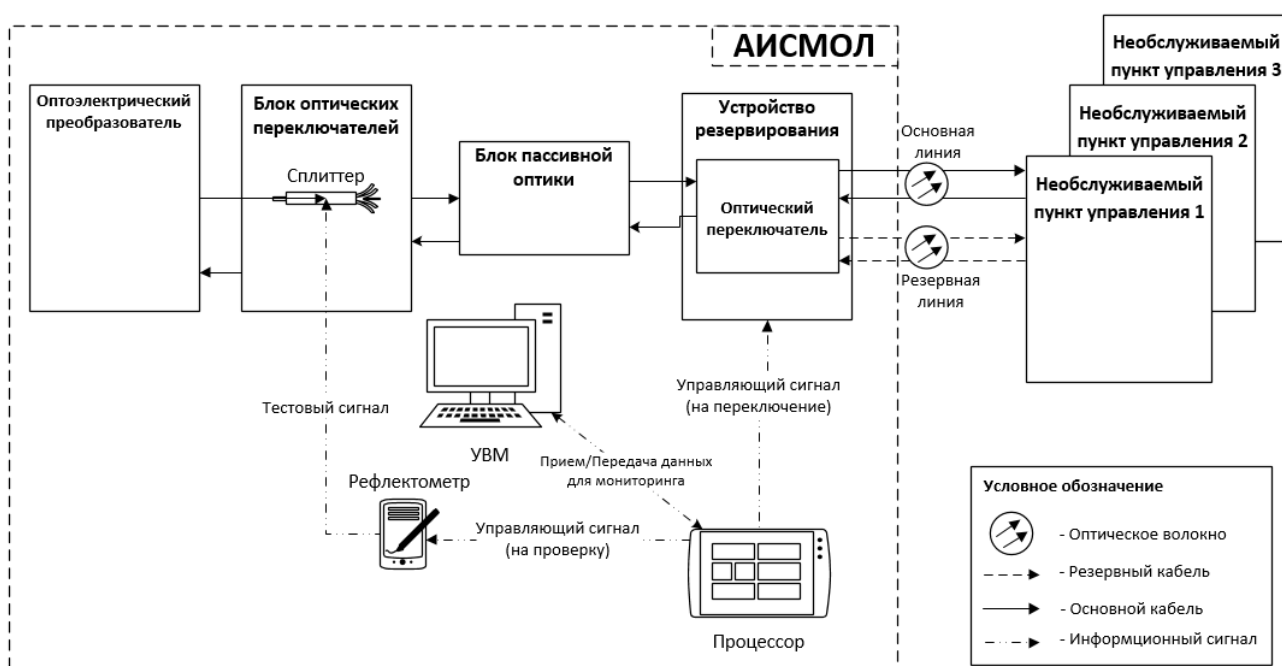


Рисунок 4. Структурная схема оборудования мониторинга и резервирования ВОЛС

Представленные на рисунке 4 устройства выполняют следующие функции.

Оптоэлектрический преобразователь – устройство, преобразующее оптический импульс в электрический.

Блок оптических переключателей – устройство, предназначенное для поочередного переключения тестового сигнала на вход проверяемого в данный момент оптоволокну.

Сплиттер или делитель сигнала – это пассивное устройство, предназначенное для разделения мощности принятого оптического сигнала между выходными портами в заданной пропорции. Применяется для разделения входящего сигнала для двух или нескольких потребителей.

Блок пассивной оптики – устройство, которое разделяет информационный и тестовый сигнал при проверке оптического волокна.

Рефлектометр – устройство, посылающее тестовый сигнал по оптическому волокну и принимающее отраженный сигнал.

Процессор – главное и координирующее устройство, собирающее сигналы с нескольких устройств для обработки и передачи.

УВМ – управляющая ЭВМ (обычно персональный компьютер). Используется для отображения данных по мониторингу, через специальное программное обеспечение.

Устройство резервирования – это активное устройство физического резервирования оптической линии связи. В схеме используется «холодное» резервирование с кратностью «1:1».

Переключения на резервный волоконно-оптический кабель производятся с помощью оптических переключателей. Оптические переключатели типа «1:1» оснащены двумя входами и четырьмя парными выходами (рисунок 5).

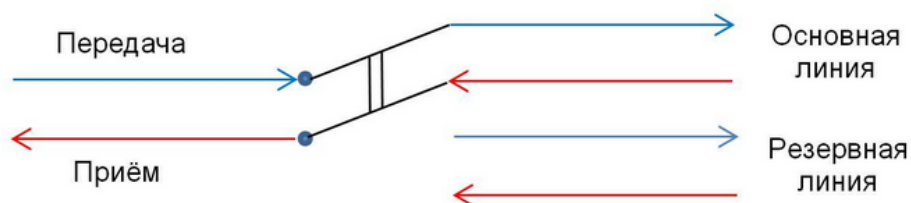


Рисунок 5. Схема переключения оптоволоконной линии

Этот тип переключателей используется в системах передачи данных и всегда устанавливаются попарно, то есть на каждый конец линии связи [3].

АИСМОЛ обеспечивает связь с главным процессором устройства, что дает возможность производить мониторинг оптоволоконной линии в реальном времени,

а также позволяет хранить весь объем данных для дальнейшего анализа произошедших неисправностей.

Математическая модель автоматизированного мониторинга

Процесс проверки оптического волокна состоит из многих этапов, на выполнение которых требуются временные затраты – как времени работы оборудования, так и времени выполнения операций техническим персоналом. При опросе сотрудников предприятия и проведении цикла работ по проверке были собраны данные о количестве времени, затрачиваемом на каждый этап и операцию (задачи) в процессе контроля.

Для более точной оценки временных показателей и наглядном отображении процесса контроля оптического волокна используем математический аппарат сетей Петри [1].

После рассмотрения существующего процесса мониторинга, был сделан вывод, что время, затрачиваемое на восстановительные работы, достаточно большое и несет за собой потерю информации. Чтобы не терять данные, в систему были введены изменения, которые способствуют как сокращению времени проверки оптических волокон, так и проведение ремонта волокна без простаивания канала связи.

Построим сеть Петри для предлагаемой автоматизированной системы мониторинга и рассчитаем ее временные характеристики.

Определим переходы (таблица 1) и позиции (таблица 2) сети Петри после автоматизации.

Таблица 1. Переходы в сети Петри для мониторинга оптических линий после автоматизации

Переход T_n	Наименование перехода
T1	Установить связь УП с оборудованием
T2	Сконфигурировать параметры проверки
T3	Запустить проверку ОВ
T4	Получить результаты проверки ОВ
T5	Сохранить результат проверки ОВ
T6	Определить, в каком из ОВ неисправность
T7	Переключить сигнал на резервное ОВ

Таблица 2. Позиции в сети Петри для мониторинга оптических линий после автоматизации

Позиция P_n	Наименование позиции
1	2
p1	Система запущена
p2	Связь установлена
p3	Параметры сконфигурированы
p4	Проверка пройдена
p5	Результат «Годен»
p6	Результат «Не годен»
p7	Результат сохранен
p8	Неисправное ОВ найдено
p9	Переключение на резерв сработало

На рисунке 6 изображена сеть Петри, которая описывает процесс мониторинга после автоматизации.

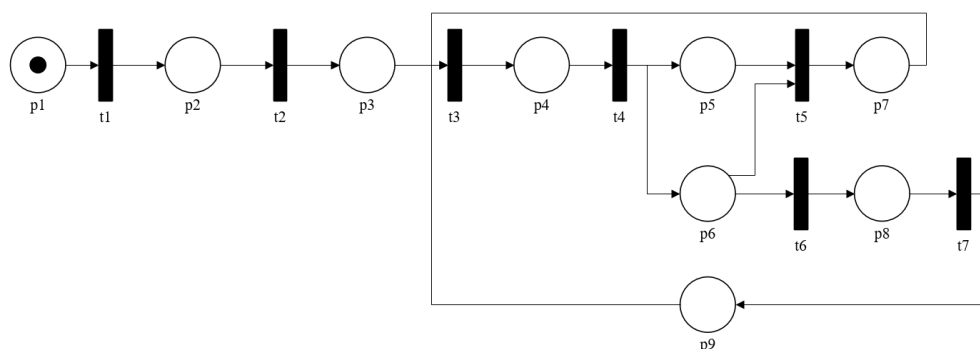


Рисунок 6. Сеть Петри после автоматизации с маркировкой в позиции запуска

В данной ситуации задача восстановления канала связи опущена и не включена в сеть Петри, так как здесь идет расчет показателя времени простоя связи. До включения изменений в системе, чтобы восстановить неисправное оптическое волокно и продолжить передачу информации по данному волокну, необходимо было провести обязательно ремонтные работы по восстановлению работоспособности оптоволокна. Только таким образом можно было снова использовать данный канал для передачи информации. В предлагаемом варианте системы появляется возможность переключаться на резервный кабель, что намного быстрее, чем ожидание окончания восстановительных работ, а также позволяет не терять данные высокой важности.

Составим матрицу связности переходов и позиций процесса мониторинга. В таблице 3 указаны результаты выполнения переходов после автоматизации процесса.

Таблица 3. Матрица связности переходов и позиций сети Петри после автоматизации

Переходы, Tn Позиции, Pn	t1, МИН	t2, МИН	t3, МИН	t4, МИН	t5, МИН	t6, МИН	t7, МИН
1	2	3	4	5	6	7	8
p1	3	-	-	-	-	-	-
p2	-	2	-	-	-	-	-
p3	-	-	1	-	-	-	-
p4	-	-	-	10	-	-	-
p5	-	-	-	-	1	-	-
p6	-	-	-	-	1	1	-
p7	-	-	1	-	-	-	-
p8	-	-	-	-	-	-	0,000583
p9	-	-	1	-	-	-	-

Рассмотрим два глобальных события, которые могут произойти по результатам мониторинга оптических волокон, и рассчитаем временные затраты процесса после модернизации системы.

Первое событие – результат «Годен». Согласно таблице 3 мониторинг, по итогу которого в систему не пришло оповещения о неисправности в оптическом волокне, занимает:

$$T_{\text{годенПосле}} = t_1 + t_2 + 2t_3 + t_4 + 2t_5 = 3 + 2 + 2 + 10 + 2 = 19 \text{ мин.}$$

Теперь рассмотрим второе событие – результат «Не годен». Согласно таблице 3 мониторинг, по итогу которого в систему пришло оповещение о неисправности в оптическом волокне занимает:

$$\begin{aligned} T_{\text{не годенПосле}} &= t_1 + t_2 + 3t_3 + t_4 + 2t_5 + t_6 + t_7 \\ &= 3 + 2 + 3 + 10 + 2 + 1 + 0,000583 = 21,000583 \text{ мин.} \end{aligned}$$

По аналогичной методике были рассчитаны временные затраты в системе до автоматизации.

Теперь сравним показатели времени по событиям «Годен» и «Не годен» (таблица 4).

Таблица 4. Сравнение времени процесса до и после автоматизации

Время работы процесса Т, мин	До автоматизации	После автоматизации
Результат «Годен»	30	19
Результат «Не годен»	554	21,000583
Общее время работы, Т	584	41,000583

По таблице 4 можно сделать вывод, что время получения результатов значительно уменьшилось. Это связано с тем, что в системе мониторинга до автоматизации весьма велико время, затрачиваемое на восстановительные работы (350 мин). В течение этого времени также еще и теряется информация.

Из математической модели на основе сетей Петри следует, что после автоматизации процесс мониторинга с возможностью резервирования оптического волокна займет сокращается почти на 9 часов и не создает простоя канала связи.

Следовательно, все изменения в существующей системе, связанные с автоматизацией процесса мониторинга оптоволокна и резервированием каналов связи, являются целесообразными.

Заключение

Проверка состояния оптических линий и их резервирование являются важными задачами в процессе передачи информации. От работоспособности оптоволокна зависит целостность передачи информации, что особенно важно для критических объектов инфраструктуры.

Из разработанной математической модели следует, что автоматизация процесса мониторинга и резервирования оптических линий является целесообразным решением.

Использованные источники:

1. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. — М.: Мир, 1984. — 264 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://studizba.com/files/show/djvu/3377-1-piterson-dzh--teoriya-setey-petri-i.html> (Дата обращения: 05.04.2023).
2. Гагарина Л.Г., Киселев Д.В., Федотова Е.Л. Разработка и эксплуатация автоматизированных информационных систем: учеб. Пособие / Под ред. Л. Г. Гагариной. - Москва: Форум: ИНФРА-М, 2007. - 383 с.: ил. - (Профессиональное образование).; [Электронный ресурс]. URL: <https://reallib.org/reader?file=490169> (Дата обращения: 05.04.2023).
3. Оптический переключатель (OLP) – Modultech [Электронный ресурс]. URL: <https://modultech.ru/opticheskij-pereklyuchatel-olp/> (дата обращения: 05.04.2023).
4. Ефанов В.И. Проектирование, строительство и эксплуатация ВОЛС: Учебное пособие. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2012. - 102 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://edu.tusur.ru/publications/803/download> (Дата обращения: 05.04.2023).