

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна»  
(СПбГУПТД)

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор, проректор по  
УР

\_\_\_\_\_ А.Е. Рудин

«29» июня 2021 года

## Рабочая программа дисциплины

**Б1.В.ДВ.04.01** Надежность технических систем и техногенный риск

Учебный план: z20.03.01\_Техносферная безопасность ЗАО №1-3-98.plx

Кафедра: **18** Инженерной химии и промышленной экологии

Направление подготовки:  
(специальность) 20.03.01 Техносферная безопасность

Профиль подготовки: Инженерная защита окружающей среды  
(специализация)

Уровень образования: бакалавриат

Форма обучения: заочная

### План учебного процесса

Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа обучающихся		Сам. работа	Контроль, час.	Трудоё мкость, ЗЕТ	Форма промежуточной аттестации
	Лекции	Практ. занятия				
4	УП	4	32		1	
	РПД	4	32		1	
5	УП	4	100	4	3	Зачет
	РПД	4	100	4	3	
Итого	УП	4	132	4	4	
	РПД	4	132	4	4	

Санкт-Петербург  
2021

Рабочая программа дисциплины составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность, утвержденным приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от 25.05.2020 г. № 680

Составитель (и):

кандидат технических наук, заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_

Бусыгин Николай  
Юрьевич

От кафедры составителя:

Заведующий кафедрой инженерной химии и  
промышленной экологии

\_\_\_\_\_

Бусыгин Николай  
Юрьевич

От выпускающей кафедры:

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_

Бусыгин Николай  
Юрьевич

Методический отдел:

Макаренко С. В.

\_\_\_\_\_

## 1 ВВЕДЕНИЕ К РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЕ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1 Цель дисциплины:** Сформировать компетенции обучающегося в области оценки надежности технических систем и техногенного риска, позволяющие применить знания, умения и личные качества для решения задач надежности химико-технологических систем (ХТС)

### 1.2 Задачи дисциплины:

- Рассмотреть теоретические и прикладные вопросы теории надежности технических систем и техногенного риска;
- Рассмотреть методы повышения надежности технических систем, важнейшие технологические способы обеспечения и повышения надежности оборудования и трубопроводов;
- Раскрыть вопросы оценки экологического риска и управление им.

### 1.3 Требования к предварительной подготовке обучающегося:

Предварительная подготовка предполагает создание основы для формирования компетенций, указанных в п. 2, при изучении дисциплин:

Проектирование производственных систем защиты окружающей среды  
Системы управления и автоматизации химико-технологических процессов  
Автоматизированные расчеты химико-технологических систем  
Моделирование процессов защиты окружающей среды  
Производственная практика (технологическая практика)  
Тепломассообменные процессы в защите окружающей среды  
Математика  
Информационные технологии  
Метрология и стандартизация  
Методы и средства автоматизированных расчетов в экологии  
Теоретические основы инженерной защиты окружающей среды

## 2 КОМПЕТЕНЦИИ ОБУЧАЮЩЕГОСЯ, ФОРМИРУЕМЫЕ В РЕЗУЛЬТАТЕ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**ПК-4: Способен устанавливать причины и последствия аварийных выбросов и сбросов загрязняющих веществ в окружающую среду, подготавливать предложения по предупреждению негативных последствий**

**Знать:** методы повышения надежности природоохранных объектов и анализа техногенного риска.

**Уметь:** проводить количественную оценку показателей надежности технических систем и техногенного риска

**Владеть:** навыками расчета основных показателей надежности и оценки техногенного риска

### 3 РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Наименование и содержание разделов, тем и учебных занятий	Семестр (курс для ЗАО)	Контактная работа		СР (часы)	Инновац. формы занятий
		Лек. (часы)	Пр. (часы)		
Раздел 1. Показатели надежности технических объектов и систем. Методология анализа и оптимизации надежности сложных химико-технологических систем	4				
Тема 1. Основные термины и определения теории надежности объектов и систем. ГОСТ 27.002-2015. Обзор основных показателей надежности технических объектов. Комплексные показатели надежности восстанавливаемых объектов.				6	
Тема 2. Основные показатели надежности технических объектов - вероятность безотказной работы, вероятность отказа, плотность вероятности, интенсивность отказов. Статистическая оценка показателей надежности. Взаимосвязь показателей надежности Средняя наработка до отказа.		1		8	
Тема 3. Основные законы распределений случайных величин, применяемые в теории надежности.		1		4	ИЛ
Тема 4. Оценка характеристик надежности сложных технологических систем. Символические и топологические модели надежности технических систем. Различные способы соединения элементов и их отражение в блок-схемах надежности (последовательное и параллельное соединения, комплексные соединения, соединения типа m из n, мостиковые схемы).		2		14	ИЛ
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)		4		32	
Консультации и промежуточная аттестация (Зачет)		0,25			
Раздел 1. Показатели надежности технических объектов и систем. Методология анализа и оптимизации надежности сложных химико-технологических систем	5				
Тема 5. Способы повышения надежности технических систем. Общая характеристика способов обеспечения и повышения надежности. Виды и способы резервирования. Структурное резервирование. Временное резервирование. Информационное, функциональное и нагрузочное резервирование. Способы структурного резервирования. Практическое занятие "Расчет характеристик надежности систем с различными видами структурного резервирования".			3	24	

Тема 6. Системный подход к исследованию и оптимизации надежности производств. Методы и алгоритмы расчета показателей надежности технических систем. Методы оптимизации надежности технических систем.			16	
Раздел 2. Надежность оперативного персонала сложных систем.				
Тема 7. Основные понятия и определения надежности оперативного персонала.			12	
Тема 8. Человек-оператор как звено сложной системы человек-машина-среда			16	
Раздел 3. Техногенный риск.				
Тема 9. Риск как количественная мера опасности. Нормативно-правовые аспекты оценки рисков в технике. Классификация рисков.			16	
Тема 10. Трактовка риска как количественная мера опасности и ее применение в расчетах. Практическое занятие "Количественная оценка техногенного риска".	1		16	ИЛ
Итого в семестре (на курсе для ЗАО)		4	100	
Консультации и промежуточная аттестация (Зачет)	0,25			
<b>Всего контактная работа и СР по дисциплине</b>	8,25		132	

#### 4 КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ

Курсовое проектирование учебным планом не предусмотрено

#### 5. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

##### 5.1 Описание показателей, критериев и системы оценивания результатов обучения

##### 5.1.1 Показатели оценивания

Код компетенции	Показатели оценивания результатов обучения	Наименование оценочного средства
ПК-4	Формулирует задачи по техническому обслуживанию процессов и оборудования для повышения надежности и снижения степени риска Оценивает надежность производственных систем стандартными количественными методами Выполняет расчеты блок-схем надежности систем и процессов, оценивает риск аварий	Вопросы для устного собеседования, тесты Практико-ориентированные задания

##### 5.1.2 Система и критерии оценивания

Шкала оценивания	Критерии оценивания сформированности компетенций	
	Устное собеседование	Письменная работа
Зачтено	Обучающийся своевременно выполнил контрольную работу, индивидуальные задания на практических занятиях, представил результаты, защитил работы, возможно допуская несущественные ошибки в ответе на вопросы преподавателя.	
Не зачтено	Обучающийся не выполнил контрольную работу, выполнил частично индивидуальные задания на практических занятиях, не в полном объеме представил результаты, допустил существенные ошибки в ответе на вопросы преподавателя.	

## 5.2 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

### 5.2.1 Перечень контрольных вопросов

№ п/п	Формулировки вопросов
Курс 5	
1	Основные законы распределения, используемые в теории надежности. Распределение Вейбулла.
2	Методы оценки риска аварий методами теории надежности.
3	Проверка гипотезы об экспоненциальном законе распределения отказов.
4	Основные законы распределения, используемые в теории надежности. Гамма-распределение.
5	Надежность человека как звена сложной производственной системы.
6	Классификация ошибок оперативного персонала.
7	Статистические показатели надежности. Среднее время между соседними отказами. Средняя частота отказов. Среднее время восстановления.
8	Статистика ошибок оперативного персонала
9	Обеспечение надежности сооружений по очистке сточных вод и обработки осадков.
10	Принципы и методы обеспечения надежности систем теплоэнергоснабжения.
11	Оптимизация надежности производственных систем. Пример.
12	Основные законы распределения, используемые в теории надежности. Закон Пуассона.
13	Расчет надежности систем типа $m$ из $n$ методом минимальных путей и сечений. Пример.
14	Расчет надежности мостиковых систем методом простого перебора. Пример.
15	Расчет надежности систем типа $m$ из $n$ методом простого перебора. Пример.
16	Организационно-технические и технологические способы повышения надежности производственных систем.
17	Влияние переключателей на надежность производственных систем.
18	Структурное резервирование. Определение числа резервных элементов. Пример.
19	Методы повышения надежности технических систем.
20	Расчет надежности систем с комбинированным соединением элементов. Пример.
21	Расчет надежности технических систем с параллельным соединением элементов. Пример.
22	Расчет надежности технических систем с последовательным соединением элементов. Пример.
23	Коэффициенты надежности. Коэффициент готовности. Коэффициент вынужденного простоя. Коэффициент профилактики.
24	Основные законы распределения, используемые в теории надежности. Нормальный закон распределения отказов.
25	Основные законы распределения, используемые в теории надежности. Экспоненциальный закон распределения отказов.
26	Определения вероятности безотказной работы элемента производственной системы, вероятности отказа, интенсивности отказов, средней наработки.
27	Основные понятия в области надежности. Надежность, безотказность, ремонтпригодность, долговечность, сохраняемость. Отказ. Классификация отказов.

### 5.2.2 Типовые тестовые задания

Типовые тестовые задания находятся в приложении к данной РПД.

### 5.2.3 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы) находятся в Приложении к данной РПД.

### 5.3 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, владений (навыков и (или) практического опыта деятельности)

#### 5.3.1 Условия допуска обучающегося к промежуточной аттестации и порядок ликвидации академической задолженности

Проведение промежуточной аттестации регламентировано локальным нормативным актом СПбГУПТД «Положение о проведении текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации обучающихся»

К зачету допускаются студенты, полностью выполнившие плановые практические задания.

#### 5.3.2 Форма проведения промежуточной аттестации по дисциплине

Устная  Письменная  Компьютерное тестирование  Иная

#### 5.3.3 Особенности проведения промежуточной аттестации по дисциплине

- время на подготовку по билету составляет 30 минут;
- выполнение ситуационной задачи составляет 30 минут.

## 6. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 6.1 Учебная литература

Автор	Заглавие	Издательство	Год издания	Ссылка
<b>6.1.1 Основная учебная литература</b>				
Беспалова И. М.	Надежность технологических и технических систем	СПб.: СПбГУПТД	2019	<a href="http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2019219">http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2019219</a>
Багров И. В., Бусыгин Н. Ю.	Надежность технических систем и техногенный риск	СПб.: СПбГУПТД	2017	<a href="http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2017125">http://publish.sutd.ru/tp_ext_inf_publish.php?id=2017125</a>
<b>6.1.2 Дополнительная учебная литература</b>				
Тремясов, В. А., Кривенко, Т. В.	Теория надежности в энергетике. Надежность систем генерации, использующих ветровую и солнечную энергию	Красноярск: Сибирский федеральный университет	2017	<a href="http://www.iprbookshop.ru/84157.html">http://www.iprbookshop.ru/84157.html</a>
Горев, В. А.	Надежность технических систем и техногенный риск	Москва: МИСИ-МГСУ, Ай Пи Эр Медиа, ЭБС АСВ	2018	<a href="http://www.iprbookshop.ru/80627.html">http://www.iprbookshop.ru/80627.html</a>
Дзиминкас, Ч. А., Васильев, А. Л., Жакевич, М. О.	Надежность канализации городов как основа экологической безопасности	Нижний Новгород: Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ	2016	<a href="http://www.iprbookshop.ru/80909.html">http://www.iprbookshop.ru/80909.html</a>
Рахимова, Н. Н.	Надежность технических систем и техногенный риск	Оренбург: Оренбургский государственный университет, ЭБС АСВ	2017	<a href="http://www.iprbookshop.ru/78793.html">http://www.iprbookshop.ru/78793.html</a>
Дерюшев, Л. Г.	Надежность сооружений систем водоснабжения	Москва: Московский государственный строительный университет, ЭБС АСВ	2015	<a href="http://www.iprbookshop.ru/57046.html">http://www.iprbookshop.ru/57046.html</a>

### 6.2 Перечень профессиональных баз данных и информационно-справочных систем

Информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам». [Электронный ресурс]. URL: <http://window.edu.ru/catalog>

Информационно-образовательная среда СПбГУПТД <https://portal.sutd.ru/> с образовательными ресурсами по дисциплине, в том числе видеоматериалами для практических занятий.

### 6.3 Перечень лицензионного и свободно распространяемого программного обеспечения

MicrosoftOfficeProfessional

**6.4 Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

Аудитория	Оснащение
Компьютерный класс	Мультимедийное оборудование, компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду
Лекционная аудитория	Мультимедийное оборудование, специализированная мебель, доска
Учебная аудитория	Специализированная мебель, доска



## Приложение

к рабочей программе дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск»  
по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность»  
наименование ОП (профиля): «Инженерная защита окружающей среды»

### 5.2.2 Типовые тестовые задания (примеры)

Параметр экспоненциального распределения  $\lambda = 0,01$  1/ч. Введите значение среднего времени наработки на отказ.

Параметр экспоненциального распределения  $\lambda = 0,01$  1/ч. Введите значение коэффициента вариации.

Длительность времени безотказной работы элемента ХТС имеет экспоненциальное распределение  $\lambda = 0,01$  1/ч. Введите значение вероятности того, что за время длительностью 50 ч элемент откажет. Ответ может быть дан в виде числа (3 знака после дес. точки) или арифметического выражения.

Длительность времени безотказной работы элемента ХТС имеет экспоненциальное распределение  $\lambda = 0,01$  1/ч. Введите значение вероятности того, что за время длительностью 50 ч элемент не откажет. Ответ может быть дан в виде числа (3 знака после дес. точки) или арифметического выражения.

Определите название закона распределения, для которого плотность вероятности имеет вид  $f(t) = 1/T \exp(-t/T)$ , где  $T$ —средняя наработка.

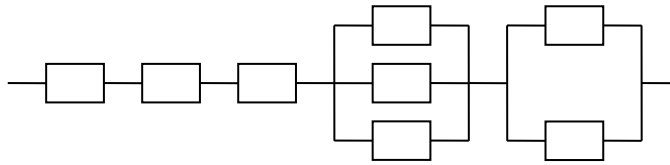
*Варианты ответа*

- 1—экспоненциальное распределение;
- 2—нормальное распределение;
- 3—распределение Релея;
- 4—распределение Вейбулла.

Введите название распределения, для которого плотность вероятности имеет вид

$$f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp(-(t - m)^2 / \sigma^2).$$

На рисунке ниже приведена блок-схема надежности ХТС. Определить выражение вероятности безотказной работы ХТС, соответствующее приведенной системе.



*Варианты ответа*

$$1 - P^2 \left\{ 1 - [1 - P][1 - P^2] \right\}^2;$$

$$2 - P^2 \left[ 1 - (1 - P^2)^2 \right] \left[ 1 - (1 - P)^2 \right];$$

$$3 - P^3 \left[ 1 - (1 - P)^3 \right] \left[ 1 - (1 - P)^2 \right];$$

$$4 - P^2 \left[ 1 - (1 - P^2)^3 \right] \left\{ 1 - [1 - P]^2 \right\}^2.$$

Здесь  $P$  – вероятность безотказной работы элемента.

Введите название термина, определение которого приведено ниже. "Вероятность реализации опасности в зоне пребывания человека".

Как называется опасное происшествие в технической системе на промышленном объекте или на транспорте, создающее угрозу жизни и здоровью людей и приводящее к разрушению производственных помещений, сооружений, серьезному повреждению или уничтожению оборудования, механизмов, транспортных средств, сырья и готовой продукции, к нарушению производственного процесса и нанесению ущерба окружающей среде?

Как называется свойство системы "человек – среда обитания", способное причинять ущерб и обусловленное энергетическим состоянием среды и действиями человека?

Как называется крупная авария, повлекшая за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей и разрушение или уничтожение объектов и других материальных ценностей в значительных размерах, а также приведшая к серьезному ущербу окружающей среде?

Обозначим:

$P$  – вероятность безотказной работы в течение времени  $t$ ;

$m$  – число аппаратов, проработавших без аварий в течение времени  $t$ ;

$NO$  – число аппаратов, находящихся под наблюдением.

Введите формулу для оценки вероятности безотказной работы.

Обозначим:

$R$  – экономический риск;

$B$  – вред обществу от рассматриваемого вида деятельности;

$P$  – польза.

Введите формулу для оценки экономического риска.

Обозначим:

$K$  – масштаб экологического риска;

$s$  – площадь кризисных или катастрофических территорий;

$sO$  – общая площадь рассматриваемого биогеоценоза.

Введите формулу для оценки масштаба экологического риска.

Обозначим:

$R$  – экологический риск;

$N$  – число антропогенных экологических катастроф и стихийных бедствий в единицу времени;

$NO$  – число потенциальных источников экологических разрушений на рассматриваемой территории.

Введите формулу для оценки экологического риска.

Обозначим:

$R$ –технический риск;

$N$ –число аварий в единицу времени на идентичных технических системах и объектах;

$NO$ –число идентичных технических систем и объектов, подверженных фактору риска.

Введите формулу для оценки технического риска.

Обозначим:

$R$ –индивидуальный риск;

$P$ –число пострадавших в единицу времени от определенного фактора риска;

$L$ –число людей, подверженных соответствующему фактору риска в единицу времени.

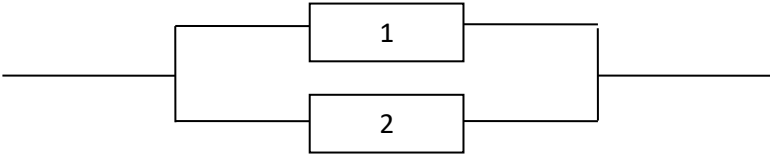
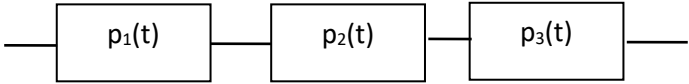
Введите формулу для оценки индивидуального риска.

В таблице приведены виды риска, их коды, объект риска и их коды.

Код вида риска	Вид риска	Объект риска	Код объекта риска
1	Индивидуальный	Материальные ресурсы	1
2	Технический	Социальные группы	2
3	Экологический	Человек Экологические системы	3
4	Социальный	Экономические системы	4
5	Экономический	Технические системы	5

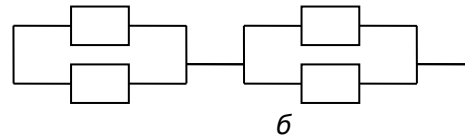
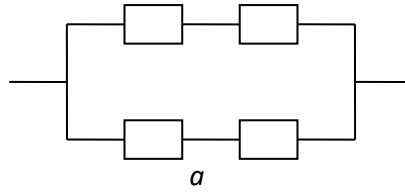
Соотнесите коды видов риска и объектов риска. Введите через запятую двузначные числа, образованные из кода вида риска и кода

### 5.2.3 Типовые практико-ориентированные задания (задачи, кейсы)

№ п/п	Вариант задания
1	<p>На рисунке приведена блок-схема надежности ХТС</p>  <p>Обозначим: <math>p_1, p_2</math> - вероятности безотказной работы элементов;  <math>p_1=0.8, p_2=0.9r</math>  <math>p</math> - вероятность безотказной работы системы.  Оцените значение вероятности безотказной работы ХТС</p>
2	<p>Длительность времени безотказной работы элемента ХТС имеет экспоненциальное распределение <math>\lambda = 0,01</math> 1/ч. Введите значение вероятности того, что за время длительностью 50 часов элемент откажет. Ответ может быть дан в виде числа (3 знака после десятичной точки) или арифметического выражения.</p>
3	<p>На рисунке приведена блок-схема надежности ХТС</p>  <p>Распределение отказов экспоненциальное.  Обозначим:  <math>\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3</math> - среднее время до отказов 1-го, 2-го и 3-го элементов (примем, что они равны соответственно 0,002; 0,0009; 0,001 соответственно);  <math>\lambda</math> - среднее время до отказа системы.  Оцените среднее время работы до отказа системы.</p>
4	<p>В результате статистического исследования материалов по отказам группы аппаратов получены следующие результаты безотказной работы, ч:  1254, 1314, 1936, 1241, 1427, 1487, 918, 978, 1361, 1314, 1936, 912, 427, 1487, 1025, 978, 1361, 576, 1936, 912, 450, 1487, 1025, 1361, 576, 114, 912, 450, 1765, 1025, 1639, 576, 114, 1242, 450, 1765, 919, 1639, 906, 114, 1242, 780, 1765, 919, 331, 1639, 906, 1242, 780, 2095, 919, 331, 1969, 906, 1646, 780, 2095, 1197, 331, 1969, 1071, 1646, 622, 2095, 119, 735, 1969, 1071, 338, 1646, 622, 212, 1197, 735, 1863, 1071, 338, 1540, 622, 212, 1527, 1863, 1401, 338, 1540, 952, 212, 1527, 629, 1863, 1401, 616, 1540, 952, 490.</p> <p>Провести расчет основных характеристик надежности: <math>Q(t), P(t), f(t), \lambda(t)</math> интервальным методом.</p>
5	<p>Испытываются два независимо работающих рулонных фильтра. Длительность времени безотказной работы фильтров имеет экспоненциальное распределение</p> $Q_1(t) = 1 - \exp(-0,0003t);$ $Q_2(t) = 1 - \exp(-0,00012t).$ <p>Определить вероятность того, что за время 1000 ч:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>оба фильтра откажут;</li> <li>оба фильтр не откажут;</li> <li>только один фильтр откажет;</li> <li>хотя бы один фильтр откажет.</li> </ol>
6	<p>Фильтр типа КД, используемый в системах приточной вентиляции и кондиционирования предприятий текстильной и легкой промышленности, имеет интенсивность отказов <math>\lambda(t) = 66 \cdot 10^{-5}</math> ч<sup>-1</sup>. Определить характеристики надежности фильтра за время <math>t = 1500</math> ч: <math>Q(t), P(t), f(t)</math> и среднюю наработку на отказ <math>T</math>.</p>
7	<p>Блок-схемы надежности ХТС имеют вид, приведенный на рисунке.</p>

Наработка элементов до отказа имеет экспоненциальные распределения с параметрами:  
 $\lambda_1 = \lambda_2 = 0,001 \text{ ч}^{-1}$ ;  $\lambda_3 = \lambda_4 = 0,0001 \text{ ч}^{-1}$ .

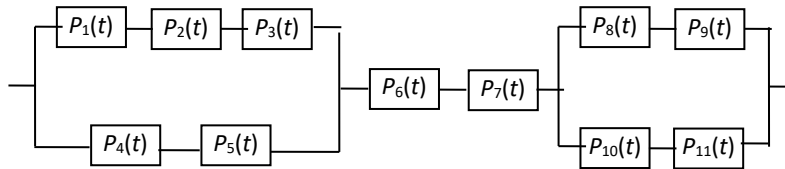
Определить ресурс функционирования систем при условии, что вероятность безотказной работы систем к концу этого срока не должна быть ниже заданного допустимого уровня  $P_{\text{доп}} = 0,95$ .



Блок-схемы надежности ХТС

8

На рисунке приведена блок-схема надежности ХТС. Напишите выражение для определения вероятности безотказной работы ХТС  $P_c(t)$ .



Блок-схема надежности