

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**Санкт-Петербургский горный университет**

**Кафедра транспортных технологических процессов и машин**

# **ТЕОРИЯ НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

*Методические указания по курсовому проектированию  
для студентов специальности 21.05.04*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**  
**2021**

УДК 622.2 (073)

**ТЕОРИЯ НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА:** Методические указания по курсовому проектированию / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *А.Е. Пушкарев, П.Н. Махараткин*. СПб, 2021. 23 с.

Изложены общие требования к курсовому проектированию студентов обучающихся по специальности 21.05.04 «Горное дело», даны исходные данные и методика расчета параметров надежности машин по учебной дисциплине «Теория надежности транспортных машин горного производства» специализации «Транспортные системы горного производства».

Методические указания также могут быть полезны для студентов направления подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» по учебной дисциплине «Надежность технологических машин и оборудования», а так же студентов направления подготовки 15.03.01 «Машиностроение».

Научный редактор проф. *В.В. Максаров*

Рецензент канд. техн. наук *А.Е. Попович* (Всеволожский камнеобрабатывающий завод «Прогресс»)

© Санкт-Петербургский  
горный университет, 2021

## **ТЕОРИЯ НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ МАШИН ГОРНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

***Методические указания по курсовому проектированию  
для студентов специальности 21.05.04***

Сост.: *А.Е. Пушкарев, П.Н. Махараткин*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой  
транспортных технологических процессов и машин

Ответственный за выпуск *А.Е. Пушкарев*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 09.03.2021. Формат 60×84/16.  
Усл. печ. л. 1,3. Усл.кр.-отг. 1,3. Уч.-изд.л. 1,1. Тираж 75 экз. Заказ 166.

Санкт-Петербургский горный университет  
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета  
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2

## **ВВЕДЕНИЕ**

Курсовое проектирование, как форма самостоятельной работы, формирует навыки самостоятельного профессионального творчества обучающихся. Оно направлено на углубление и закрепление знаний, полученных на лекциях и других занятиях; выработку навыков самостоятельного активного приобретения новых, дополнительных знаний; нацелена на повышение уровня теоретического и практического усвоения студентами курса учебной дисциплины «Теория надежности транспортных машин горного производства» специализации «Транспортные системы горного производства».

Организация курсового проектирования предполагает формирование профессиональных компетенций, обеспечивающих готовностью участвовать в исследованиях объектов профессиональной деятельности и их структурных элементов, интерпретировать полученные результаты, составлять и защищать отчеты; способность оценивать эффективность функционирования транспортных систем горного производства с использованием современных методов анализа и обработки информации, методов экономико-математического моделирования

Курсовое проектирование необходимо не только для освоения дисциплины, но и для формирования навыков самостоятельной работы, как в учебной, так и профессиональной деятельности.

Основная задача подготовки отчета по курсовому проекту состоит в том, чтобы на примере рассмотрения одной из актуальных задач, связанных с надежностью транспортных машин горного производства, развить навыки самостоятельной работы с оригинальными научными текстами, информационно-аналитической литературой, монографическими исследованиями и разработками.

## 1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

### Цель работы

Научиться применять методику определения показателей надежности функционирования транспортной системы карьера, с расчетом эксплуатационных показателей автомобилей-самосвалов и экскаваторов для определения оптимальных условий их совместной работы по вывозу навалочного груза из карьера.

### 1.1 Методика выполнения работы

Подобрать для заданной марки автомобиля рациональную модель экскаватора.

Определить необходимое количество автомобилей-самосвалов и экскаваторов для выполнения заданного суточного объема работ по перевозке навалочного груза.

Согласовать работу экскаваторов и автомобилей-самосвалов таким образом, чтобы она была бесперебойной.

По результатам расчетов построить графики зависимостей количества автомобилей-самосвалов (экскаваторов) и их производительности от времени простоя под погрузкой (в ожидании прибытия автомобилей).

Определить показатели надежности функционирования транспортной системы карьера для заданных условий.

Сделать вывод, в котором указать при каких эксплуатационных показателях работы автомобилей-самосвалов и экскаваторов их совместная деятельность по вывозу навалочного груза из карьера для заданных условий будет оптимальной с наилучшими показателями надежности.

#### 1.1.1. Выбор модели экскаватора (автомобиля-самосвала)

При выборе экскаватора (автомобиля-самосвала) необходимо учитывать следующее:

- соотношение между вместимостью ковша экскаватора и емкостью кузова автомобиля-самосвала, которое оценивается количеством ковшей, загружаемых в автомобиль,  $m$ ;

- коэффициент использования статической грузоподъемности автомобиля-самосвала  $\gamma_c$ ;
- соотношение между фактическим и нормированным временем простоя под погрузкой одного автомобиля-самосвала.

Остановимся подробнее на перечисленных выше критериях, оказывающих влияние на выбор модели экскаватора.

Количество ковшей, загружаемых в автомобиль-самосвал, определяется методом подбора, при последовательной подстановке объемов ковшей экскаваторов:  $V_{кэ}$  - при выборе экскаватора (см. приложение 2), или паспортных емкостей кузовов автомобилей-самосвалов:  $V_{сп}$  - при выборе автомобилей-самосвалов, приведенных в справочной литературе (см. приложение 4), в выражение:

$$m = \frac{V_{сп}}{V_{кэ} k_n}, \quad (1)$$

где  $k_n$  - коэффициент наполнения ковша экскаватора (приложение 2).

Полученное после вычислений по формуле (1) число ковшей, загружаемых в автомобиль-самосвал, округляется до целого числа  $m_0$ , которое, для реализации максимально возможной его грузоподъемности в данных условиях, должно находиться в пределах от трех до шести ковшей ( $m_0 < 3$  - приводит к увеличению динамических нагрузок на ходовую часть и шасси автомобиля, а  $m_0 > 6$  - к неоправданному росту времени простоя автомобиля под погрузкой).

Однако бывают случаи, когда практически невозможно обеспечить полную загрузку автомобиля-самосвала даже шестью ковшами, тогда при выборе экскаватора (автомобиля-самосвала) ориентируются не на количество ковшей, а на время погрузки, которое не должно превышать величины ее нормированного значения  $t_{пн}$ , (см, выражение (3)).

Статический коэффициент использования грузоподъемности автомобиля-самосвала определяется при их совместной работе с экскаваторами, которые обеспечивают их загрузку 3 - 6 ковшами по выражению:

$$\gamma_c = \frac{V_{кэ} k_n \gamma_r m_0}{q_n}, \quad (2)$$

где  $\gamma_r$  - навалочная плотность груза, т/м<sup>3</sup> (приложение 1);  $q_n$  - номинальная (паспортная) грузоподъемность автомобиля-самосвала, т (см. приложение 4).

Величина  $\gamma_c$  должна находиться в пределах  $(1 \pm 0,1)$ , что служит критерием правильности выбора модели экскаватора.

Примечание. При погрузке грузов с невысокой навалочной плотностью  $\gamma_c$  может быть снижена до 0,8.

При погрузке навалочных грузов следует проверить возможность загрузки автомобиля-самосвала с "шапкой". Это особенно важно при  $\gamma_c < 1,0$ .

"Шапка" навалочного груза над поверхностью кузова автомобиля-самосвала обычно образуется добавлением в него одного-двух дополнительных ковшей при сохранении условия  $\gamma_c \leq 1,1$ .

Проверка соотношения фактического и нормативного времени простоя автомобиля-самосвала под погрузкой выполняется по соотношению

$$\frac{t_{цэ} m_0}{60} < t_{пн} \quad (3)$$

где  $t_{цэ}$  - время цикла работы экскаватора, с (см. приложение 2);  $t_{пн}$  - нормированное время простоя автомобиля под погрузкой, мин. (см. приложение 3).

Совместно могут работать те экскаваторы с автомобилями-самосвалами, которые удовлетворяют вышеприведенным критериям. Если при расчетах получается, что данным критериям удовлетворяют несколько моделей экскаваторов (автомобилей-самосвалов), то окончательный выбор модели остается за студентом, который его обосновывает.

Все последующие расчеты ведутся для принятой модели экскаватора (автомобиля-самосвала).

### 1.1.2, Определение количества экскаваторов (автомобилей-самосвалов)

Количество экскаваторов  $\mathcal{E}_x$ , необходимое для выполнения суточного объема работ по погрузке навалочного груза, рассчитывается по выражению

$$\mathcal{E}_x = \frac{Q_{\text{сут}} k_{\epsilon A}}{W_3 T_{\text{см}} n_{\text{см}}}, \quad (4)$$

где  $Q_{\text{сут}}$  - суточный объем работ, т (см. п. 2, Этап 2);  $k_{\epsilon A}$  - коэффициент неравномерности прибытия автомобилей-самосвалов под погрузку. При расчетах принимать равным 1,08.

В формуле (4) эксплуатационная производительность экскаватора  $W_3$  определяется по формуле  $W_3 = T_{\text{см}} V_{\text{кэ}} k_{\text{н}} k_{\text{в}} 3600 / t_{\text{цэ}}$ . Для экскаваторов, работающих с погрузкой в автосамосвалы,  $k_{\text{в}} = 0,8$ .

Время рабочей смены экскаватора  $T_{\text{см}}$  и расчетах принимать равным 8,2 часа, а количество смен  $n_{\text{см}}$  - двум.

Полученное значение  $\mathcal{E}_x$  округляется до целого числа.

$A_x$  - количество автомобилей-самосвалов, необходимых для вывоза суточного объема навалочного груза из карьера определится как:

$$A_x = \frac{Q_{\text{сут}}}{W_{\text{асм}} n_{\text{см}}}, \quad (5)$$

В выражении (5) суточная производительность автомобиля-самосвала  $W_{\text{асм}}$  определяется следующим образом

$$W_{\text{асм}} = q_{\text{н}} \gamma_{\text{с}} \frac{T_{\text{см}}}{t_{\text{е}}}, \quad (6)$$

$$t_{\text{е}} = \frac{l_{\text{сг}}}{v_{\text{т}} \beta} + t_{\text{пз}} + t_{\text{рн}}, \quad (7)$$

$$t_{\text{пз}} = \frac{q_{\text{н}} \gamma_{\text{с}}}{W_3}, \quad (8)$$

где  $t_{\text{е}}$  - время, затрачиваемое автомобилем-самосвалом на одну езду, ч;  $t_{\text{пз}}$  - время простоя автомобиля самосвала под погрузкой, ч;

$t_{рн}$  - нормированное время разгрузки автомобиля-самосвала (см. приложение 3).

Полученное значение  $A_x$  округляется до целого числа  $A_{x0}$ .

Примечание. При выполнении расчетов техническую скорость движения автомобиля-самосвала  $V_T$  принимать в пределах от 20 до 30 км/ч, коэффициент использования пробега  $\beta$  - равным 0,5 и длину ездки с грузом  $l_{ег}$  от 5 до 15 км.

### 1.1.3. Согласование работы автомобилей-самосвалов и экскаваторов

Для обеспечения бесперебойной работы автомобилей-самосвалов и экскаваторов необходимо организовать процесс погрузки и перевозки навалочного груза таким образом, чтобы не было простоев ни автомобилей-самосвалов, ни экскаваторов. Это достигается закреплением за одним экскаватором такого количества автомобилей, при котором интервал их поступления под погрузку  $t_{пх}$  совпадал (был близок) ко времени самой погрузки.

Исходя из вышесказанного, согласование работы автомобилей-самосвалов и экскаваторов проводится в следующей последовательности.

Сначала определяется минимальное количество экскаваторов  $\mathcal{E}_{xmin}$ , обеспечивающих бесперебойную работу автомобилей-самосвалов  $A_{x0}$ , рассчитанных в п. 1.1.2.

$$\mathcal{E}_{xmin} = A_{x0} \frac{t_{пз}}{t_e}, \quad (9)$$

Затем находится желаемый интервал поступления автомобилей-самосвалов под погрузку  $t_{пх}$ :

$$t_{пх} = \frac{t_e}{A_{x0}}, \quad (10)$$

который сравнивается с  $t_{пз}$ . При расхождении значений  $t_{пх}$  и  $t_{пз}$  более чем на 10% определяется новое значение  $t_e^*$  по выражению:

$$t_e^* = A_{x0} t_{пз}. \quad (11)$$



После этого рассчитывается техническая скорость движения автомобилей  $V_T^*$ , которая обеспечивает их бесперебойное поступление под погрузку:

$$V_T^* = \frac{I_{er}}{\beta(t_e^* - t_{пз} - t_{рн})}. \quad (12)$$

Однако следует помнить, что в реальных условиях трудно обеспечить бесперебойную работу автомобилей-самосвалов и экскаваторов в течение длительного времени. Это связано с тем, что процессы погрузки-разгрузки и перевозки грузов относятся к системам массового обслуживания, которые имеют следующие особенности: моменты прибытия транспортных средств (ТС) в пункты погрузки-разгрузки - величины случайные и, как правило, не могут быть предсказаны точно; длительность обслуживания ТС в пунктах погрузки-разгрузки резко меняется от вида груза и выполнении работы по часам, дням недели, месяцам и т. д.; погрузочно-разгрузочные механизмы имеют различную загрузку и др.

Неравномерное поступление ТС под погрузку приводит либо к простоя экскаваторов в ожидании прибытия автомобилей, либо к простоям ТС в очереди в ожидании погрузки.

Для учета времени, затрачиваемого автомобилем на ожидание погрузки в очереди,  $t_{ож}$ , выражение (11) необходимо записать следующим образом:

$$t_e = \frac{I_{er}}{V_T \beta} + t_{ож} + t_{пз} + t_{рн}. \quad (13)$$

В данном выражении  $t_{ож}$  определяется с использованием метода, изложенного в п. 2.

## 1.2. Определение показателей надежности транспортной системы

На основании результатов расчетов, выполненных в п. 1.1 производится расчет показателей надежности транспортной системы карьера. При этом решаются следующие задачи.

1. Основываясь на структурной схеме, нужно найти вероятность безотказной работы автомобиля  $P_a$ , если вероятность безотказной работы каждого элемента равна  $p_i$ .

2. Найти вероятности безотказной работы всех автосамосвалов.

3. Найти вероятности безотказной работы всей транспортной системы карьера.

### 1.2.2. Надежность видов соединений элементов системы

Расчет надежности системы, состоящего из ряда элементов, возможен после формирования ее структурной схемы. При этом считают, что элементы системы взаимодействуют последовательно, если отказ любого из них приводит к отказу всей системы. В этом случае говорят, что система работоспособна, если работоспособны и элемент А, и элемент Б, и т.д. Союз “и” предопределяет применение теоремы умножения вероятностей. Система находится в состоянии отказа, если отказал или элемент А, или элемент Б, и т.д. – в этом случае вероятность отказа определяется по теореме сложения вероятностей отказов элементов.

Элементы системы взаимодействуют параллельно, если её работоспособность будет обеспечена при сохранении работоспособности хотя бы одного элемента, т.е. работоспособен или А, или Б, и т.д. Вероятность безотказной работы такой системы определяется по теореме сложения вероятностей для совместных событий. При большом количестве параллельно соединенных элементов использование теоремы сложения вероятностей приводит к весьма громоздкой расчетной зависимости. Поэтому удобнее определять вероятность отказа изделия по теореме умножения вероятностей отказов и, затем, – вероятность безотказной работы:

$$P = 1 - Q = 1 - \prod_{i=1}^m q_i = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - p_i) \quad (14)$$

Следует отметить, что понятия параллельное и последовательное взаимодействия с точки зрения теории надежности может не соответствовать фактическому соединению элементов в физическом смысле. К примеру, на сливных линиях

из зумпфа фабрики устанавливают по две задвижки, физически соединенные последовательно. С точки зрения теории надежности эти задвижки взаимодействуют последовательно при открывании слива (нормальное положение задвижек – закрыто) и параллельно при закрывании слива (нормальное положение – открыто).

Таким образом, при формировании структурной схемы взаимодействия элементов любой системы необходим предварительный анализ ее нормальной работы. Для этого рекомендуется использовать инструменты функционального анализа.

Вначале формулируется Главная функция системы, а затем – основные, которые обеспечивают выполнение Главной функции и позволяют выделить его основные структурные элементы. После этого устанавливается последовательность прохождения важнейшего потока (вещественного или полевого) через структурные элементы. Именно эта последовательность: параллельная, последовательная или смешанная, устанавливает характер взаимодействия элементов.

Для  $m$  последовательно взаимодействующих элементов вероятность безотказной работы определяется по зависимости:

$$P = \prod_{i=1}^m p_i \quad (15)$$

где  $p_i$  – вероятность безотказной работы  $i$ -го элемента.

Если все  $m$  элементов имеют одинаковую вероятность  $p_i$ , то  $P = p_i^m$ .

Для  $n$  параллельно взаимодействующих элементов вероятность отказа  $i$  –го элемента системы  $q_i = 1 - p_i$ , а вероятность отказа системы из  $m$  элементов

$$Q = \prod_{i=1}^m q_i. \quad (16)$$

Вероятность безотказной работы системы из  $m$  элементов

$$P = 1 - Q = 1 - \prod_{i=1}^m q_i. \quad (17)$$

Если все  $m$  элементов имеют одинаковую вероятность  $p_i$ , то  $P = 1 - (1 - p_i)^n$ .

Если система состоит из  $m$  элементов, взаимодействующих последовательно и образующих  $n$  параллельно взаимодействующих цепочек, то вероятность безотказной работы всей системы:

$$P = 1 - \prod_{j=1}^n (1 - \prod_{i=1}^m p_i). \quad (18)$$

При одинаковых элементах

$$P = 1 - (1 - p^m)^n. \quad (19)$$

1.2.2. Структурные схемы соединений элементов и структурное резервирование

Различают структурное резервирование общее и раздельное. При общем резервировании резервируется объект в целом. При раздельном резервировании резервируются отдельные элементы объекта (детали, узлы, блоки, агрегаты), схемы и т.д. Часто используется смешанное резервирование.

Раздельное резервирование гораздо эффективнее общего. Эффективность повышается при снижении уровня резервирования, т.е. чем меньшая часть объекта резервируется как единое целое, тем больше вероятность безотказной работы  $P(t)$  объекта.

Постоянное структурное резервирование – это резервирование, при котором резервные элементы функционируют наравне с основными в течение всего времени работы и находятся в одинаковом с ним режиме.

Структурное резервирование замещением - резервирование, при котором функции основного элемента передаются резервному только после отказа основного элемента. Передача функций основного элемента резервному может производиться вручную или автоматически.

Если система состоит из  $n$  элементов, из которых один основной и  $n-1$  резервный, то

$$Q(t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} = \frac{q^n}{n!} \quad (20)$$

Т.е. вероятность отказа при резервном замещении в  $n!$  раз меньше, чем при постоянном резервировании, так как резервные элементы не находятся под нагрузкой. Должна быть обеспечена надежная передача функций резервному элементу.

Например, рассмотрим эффективность разных способов структурного резервирования.

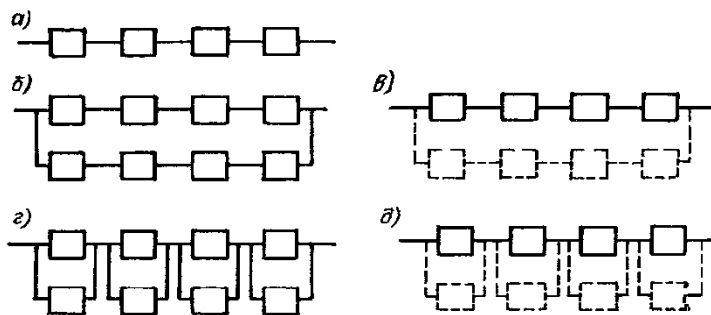


Рис. 1 - Структурные схемы различных видов резервирования.

Надежность при различных схемах резервирования рассчитывается по формулам (см. рис. 1):

Схема а - соединение последовательное без резервирования:

$$P = 1 - p_i^n. \quad (15)$$

Схема б - общее постоянное резервирование системы:

$$P = 1 - (1 - p_i^n)^m. \quad (16)$$

Схема в - общее резервирование системы замещением при надежном подключении.

$$P = 1 - \frac{(1 - p_i^n)^m}{m!} \quad (17)$$

Схема г - общее постоянное резервирование каждого элемента.

$$P = [1 - (1 - p_i)^m]^n. \quad (18)$$

Схема д - общее резервирование замещением каждого элемента.

$$P = \left[ 1 - \frac{(1 - p_i)^m}{m!} \right]^n \quad (19)$$

Система их 4-х элементов, соединенных последовательно без резервирования (рис. 1, схема а). Вероятность безотказной работы одного элемента  $p(t) = 0,9$ , вероятность отказа  $q(t) = 1 - 0,9 = 0,1$ . Тогда вероятность безотказной работы  $P(t)$  и вероятность отказа  $Q(t)$  системы из 4-х одинаковых элементов :

$$P(t) = p(t)^4 = 0,9^4 = 0,66; \quad Q(t) = 1 - P(t) = 1 - 0,66 = 0,34.$$

Схема б). Общее постоянное резервирование системы:

$$Q(t) = 0,34^2 = 0,12; \quad P(t) = 1 - 0,12 = 0,88.$$

Схема в). Общее резервирование системы замещением при надежном переключении :

$$Q_{p.c}(t) = \frac{Q_c^2(t)}{2!} = \frac{0,34^2}{2!} = 0,06;$$

$$P_{p.c}(t) = 1 - Q_{p.c}(t) = 1 - 0,06 = 0,94$$

Схема г). Раздельное постоянное резервирование каждого элемента системы:

$$P_{p.c}(t) = [1 - q^2(t)]^4 = (1 - 0,1^2)^4 = 0,96;$$

$$Q_{p.c}(t) = 1 - P_{p.c} = 1 - 0,96 = 0,04$$

Схема д). Раздельное резервирование замещением каждого элемента системы:

$$P_{p.c}(t) = \left[ 1 - \frac{q^2(t)}{2!} \right]^4 = \left( 1 - \frac{0,1^2}{2!} \right)^4 = 0,98;$$

$$Q_{p.c}(t) = 1 - 0,98 = 0,02$$

Видно, что раздельное резервирование намного эффективнее общего, а резервирование замещением при надёжном переключении эффективнее постоянного.

Влияние масштаба резервирования можно оценить следующим образом.

Вероятность безотказной работы одного конвейера -  $P_i$ .  
Вероятность безотказной работы по схеме (а):  $P = 1 - (1 - P_i^n)^m$ .

Вероятность отказа двух параллельных конвейеров в схеме (б) (см. рис. 1):  $Q_2 = (1 - p_i)^m$ . Вероятность безотказной работы:  $P = 1 - (1 - p_i)^m$ .

Для трёх групп конвейеров по два конвейера в каждой (последовательно функционирующие) вероятность безотказной работы системы по схеме (б) (см. рис. 1):  $P = [1 - (1 - p_i)^m]^n$ . Тогда при  $n = 3$ ,  $m = 2$  и  $p_i = 0,9$ :

$$P_1 = 1 - (1 - 0,9^3)^2 = 0,93;$$

$$P_2 = [1 - (1 - 0,9)^2]^3 = 0,99^3 = 0,97.$$

Отсюда видно, что схема (б) надёжнее.

Автомобиль можно представить смешанной схемой соединений элементов системы (рис. 2):

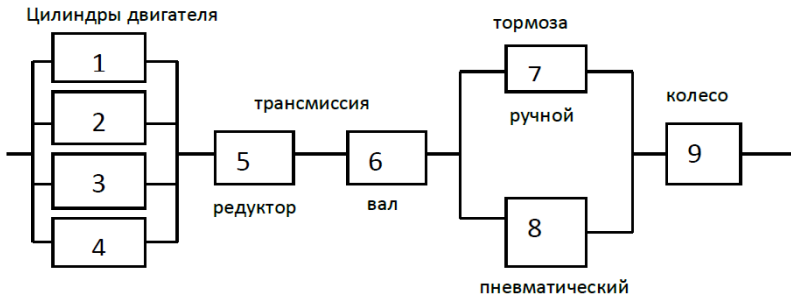


Рис. 2 – Структурная схема автомобиля.

Таким образом, вероятность безотказной работы автомобиля как системы можно определить как произведение вероятностей безотказной работы участков схемы параллельных и последовательно соединенных элементов.

## 2. ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ ЕГО ВЫПОЛНЕНИЯ

Курсовой проект выполняется в четыре этапа.

Этап 1. Студенты, в соответствии со своим вариантом, используя исходные данные (вид навалочного груза и модель автомобиля-самосвала), приведенные в таблице, выбирают рациональную модель экскаватора для совместной работы с автомобилем-самосвалом. После этого студентам предлагается самостоятельно (для того же вида груза) подобрать другой комплект машин: экскаватор - автомобиль самосвал из образцов техники, представленной на современном рынке транспортно-добычного оборудования карьеров. В качестве информации о технических характеристиках экскаваторов и автомобилей-самосвалов для второго варианта комплекта экскаватор – автомобиль-самосвал допускается использовать литературные источники, информацию из сети Интернет, отчеты о производственной практике.

Этап 2. Для двух комплектов машин: экскаватор - автомобиль-самосвал, выбранных на первом этапе, выполняются сравнительные расчеты в соответствии с пп. 1.1.2 и 1.1.3. При этом  $Q_{сут}$  для каждого номера варианта  $N$  определять по формуле:

$$Q_{сут} = 2000 + 150N. \quad (14)$$

Этап 3. На данном этапе, используя выражения (5), (6), (8), (10), (13) и изменяя в последнем из них  $t_{ож}$  от 1 до 6 минут с шагом и одну минуту, рассчитываются значения  $A_x$  и  $W_{асм}$  и строятся графики зависимостей  $A_x = f(t_{ож} + t_{пз})$  и  $W_{асм} = f(t_{ож} + t_{пз})$ .

В отчете по курсовой работе должны найти отражение все пункты раздела 1.



Примечание. В заключении по проекту должен быть сформулирован вывод о выполненном сравнении варианта транспортной системы карьера из образцов техники, предложенной в настоящих методических указаниях и образцов техники, подобранной самостоятельно, из представленной на современном рынке транспортно-добычного оборудования карьеров.

Этап 4. Определение показателей надежности транспортной системы карьера. В качестве исходных показателей элементов транспортной системы используются данные, накопленные на производственной практике (допускается использовать данные, предоставленные преподавателем).

При выполнении проекта необходимо произвести расчеты и построить зависимости (тренды), отражающие результаты расчетов.

Все недостающие для расчета данные принимать самостоятельно с пояснениями и ссылками на источники.

В графической части изобразить тренды количества автомобилей-самосвалов, необходимых для вывоза суточного объема навалочного груза из карьера, и суточной производительности автомобиля-самосвала в зависимости от времени, затрачиваемого автомобилем на ожидание погрузки в очереди.

Номер варианта исходных данных выбирается в соответствии с номером студента в журнале, или по результатам прохождения производственной практики (Приложение 2 и 4). Согласованные исходные данные заносятся в титульный лист пояснительной записки и подписываются.

К защите курсового проекта представляется пояснительная записка и графический материал, выполненный на листе формата А1.

### **3. ОФОРМЛЕНИЕ КУРСОВОГО ПРОЕКТА**

Набор текста пояснительной записки оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ на листах формата А4 средствами текстового процессора Microsoft Word. Поля: левое 25 мм; правое, верхнее и нижнее – 20 мм. Стиль шрифта – Times New

Roman, размер шрифта для заголовков глав и других рубрикации – 14, для текста – 12, межстрочный интервал – 1,5, отступ первой строки абзаца – 1,25 и выравнивание по ширине. Расстановка переносов слов в тексте должна выполняться автоматически.

Заголовки печатаются без переносов и выравниваются по центру. Разрешается использовать в тексте курсивное и полужирное начертание для акцентирования внимания на важных положениях текста.

Заголовки структурных частей пояснительной записки («СОДЕРЖАНИЕ «РАЗДЕЛ 1», «РАЗДЕЛ 2», «РАЗДЕЛ 3», «ЗАКЛЮЧЕНИЕ», «СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ») печатают прописными буквами по центру строк без абзацного отступа полужирным шрифтом.

Каждую структурную часть пояснительной записки следует начинать с нового листа. Заголовки подразделов (параграфов) и пунктов печатают строчными буквами (первая прописная) с абзацного отступа полужирным шрифтом. В конце заголовков точку не ставят. Выравнивание – по левому краю. Если заголовок включает несколько предложений, их разделяют точками. Перенос слов в заголовках, названиях таблиц и рисунков не допускается.

Интервал между заголовком и последующим текстом должен составлять 12 пунктов. Если между двумя заголовками текст отсутствует (например, между заголовками главы и подраздела), то интервал между ними устанавливается в 12 пунктов. Интервал между заголовком и предшествующим текстом должен составлять 24 пункта.

Страницы следует нумеровать арабскими цифрами размером 12 пунктов с соблюдением сквозной нумерации по всему тексту пояснительной записки. Номер страницы проставляется в центре нижнего колонтитула. Титульный лист включают в общую нумерацию страниц, однако номер страницы на титульном листе не проставляют. Рисунки и таблицы, расположенные на отдельных листах, включают в общую нумерацию страниц.

Нумерация разделов, подразделов, пунктов, рисунков, таблиц, формул, уравнений дается арабскими цифрами. Номер

подраздела состоит из номера раздела и порядкового номера подраздела, разделенных точкой.

Пункты нумеруют в пределах каждого подраздела. Номер пункта состоит из порядковых номеров главы, подраздела и пункта, разделенных точками, например, 2.4.1 – первый пункт четвертого подраздела второй главы.

Заголовки разделов, подразделов и пунктов приводят после их номеров без точки через пробел.

Иллюстрации и таблицы следует располагать непосредственно на странице с текстом после абзаца, в котором они упоминаются впервые, или отдельно на следующей странице, если они занимают все поле листа формата А4.

Иллюстрации и таблицы обозначают соответственно словами «Рисунок» и «Таблица» и нумеруют последовательно в пределах всей работы. На все таблицы и иллюстрации должны быть ссылки в тексте.

Иллюстрации, как правило, имеют наименование и пояснительные данные (подрисуночный текст), располагаемые по центру страницы.

Таблицу с большим количеством строк переносят на следующий лист таким образом, чтобы головка таблицы не была оторвана от строк. При переносе части таблицы на другой лист ее заголовок указывают один раз над первой частью, слева над другими (переносимыми) частями пишут слово «Продолжение», а затем «Окончание» и указывают номер таблицы, например: «Окончание таблицы 1.2».

Заголовки граф и строк пишут с прописной буквы в единственном числе, а подзаголовки граф – со строчной, если они составляют одно предложение с заголовком, и с прописной, если они имеют самостоятельное значение.

Формулы набираются с помощью редактора формул, формулы располагаются по центру, нумерация проставляется в круглых скобках в правом положении на строке. Латинские буквы набираются курсивом; русские, греческие буквы, цифры и химические символы, критерии подобия – прямым.

Пояснение значений символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу или уравнение, приводится непосредственно под формулой или уравнением в той же последовательности, в которой они даны в формуле (уравнении). Значение каждого символа и числового коэффициента следует приводить с новой строки. Первую строку пояснения начинают со слова «где» без двоеточия.

В тексте пояснительной записки необходимо в квадратных скобках давать ссылки на источники. Библиографические ссылки в тексте пояснительной записки оформляются в соответствии с требованиями ГОСТ Р 7.0.5–2008.

### **РЕКОМЕНДУЕМЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. ГОСТ 27.002-2015 Надежность в технике (ССНТ). Термины и определения. официальное издание М.: Стандартинформ, 2016. - 23с.

2. *Карепов, В.А.* Надежность горных машин и оборудования [Электронный ресурс]: учеб. пособие / В. А. Карепов, Е. В. Безверхая, В. Т. Чесноков. - Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. - 134 с.

3. *Максаров, В.В.* Машины и оборудование [Электронный ресурс]: учебник / В.В. Максаров, А.В. Михайлов, С.Л. Иванов. - СПб. : Горн. ун-т, 2015. - 385 с

### **СОДЕРЖАНИЕ**

Введение .....	3
1. Общие сведения.....	4
2. Задание на курсовой проект и последовательность его выполнения .....	16
3. Оформление курсового проекта.....	17
Рекомендуемый библиографический список.....	20
Приложение 1	
Приложение 2	
Приложение 3	

## Приложение 1

### Характеристики навалочного груза

Наименование груза	Навалочная плотность $\gamma_r$ , т/м <sup>3</sup>	Рекомендуемый коэффициент наполнения ковша $k_{\text{н}}$
Галька	1,47 – 1,70	0,65 – 0,35
Глина	1,80 – 2,20	0,50 – 0,75
Гравий	1,50 – 2,00	0,55 – 0,75
Грунт	1,10 – 1,60	0,60 – 1,10
Песок	1,23 – 1,90	0,55 – 0,95
Уголь	0,63 – 0,95	0,90 – 1,20
Шлак	0,60 – 1,00	0,30 – 1,00
Щебень	1,32 – 2,00	0,50 – 0,65
Бутовый камень	1,60 – 2,00	0,50 – 0,75
Булыжник	2,1	0,50 – 0,75

## Приложение 2

### Характеристики экскаваторов

Марки экскаваторов	Вместимость ковша $V_{\text{кз}}$ , м <sup>3</sup>	Время цикла погрузки $t_{\text{цз}}$ , с
ЭКГ-2у	2,0	26,5
ЭО-4121	0,65	23,5
ЭО-5122	1,0	24,0
ЭО-6121	3,2	22,0
ЭО-7163	2,5	32,0
ЭО-3211	0,4	19,0
ЭО-2621А	0,3	15,0
Э-1251Б	1,5	23,0
Э-1252Б	1,2	32,0
ЭКГ-4,6Б	4,6	28,0
ЭКГ-6,3ус	6,3	30,0
Э 0-3222А	0,5	19,5

Приложение 3

Норма времени простоя автомобилей-самосвалов  
в пунктах погрузки и разгрузки (мин)

Номинальная грузоподъемность автомобилей, т	Способы погрузки / разгрузки			
	Механизированный		Немеханизированный	
	Навалочные грузы, включая вязкие и полувязкие	Прочие грузы, включая строительные растворы	Навалочные грузы, включая вязкие и полувязкие	Прочие грузы, включая строительные растворы
1	2	3	4	5
В пунктах погрузки $t_{пн}$				
До 1,5	4	9	14	19
От 1,5 до 2,5	5	10	15	20
От 2,5 до 4	6	12	18	24
От 4 до 7	7	15	21	29
От 7 до 10	8	20	25	37
От 10 до 15	10	25	30	45
От 15 до 20	14	35	35	56
От 20 до 30	19	45	50	76
От 30 до 40	20	63	61	98
В пунктах разгрузки $t_{рн}$				
До 7	4	6	-	-
От 7 до 10	6	8	-	-
От 10 до 15	9	12	-	-
От 15 до 20	14	16	-	-
Свыше 20	24	27	-	-

Приложение 4

Характеристики автомобилей-самосвалов

Марка автомобиля	Номинальная грузоподъемность, т	Габаритные размеры автомобиля, мм			Размеры кузова автомобиля, мм			Емкость кузова
		Дли-на	Ши-рина	Высо-та	Дли-на	Ши-рина	Высота	$V_{сп}, м^3$
ЗИЛ-ММЗ-555	5,25	5475	2420	2500	2600	2210	650	3,00
ЗИЛ-ММЗ-554М	5,50	6350	2500	3235	3350	2300	777	6,00
ЗИЛ-ММЗ-4502	5,80	5505	2500	2820	2600	2300	635	3,70
КамАЗ-5511	10,00	7140	2500	2700	4525	2310	816	7,20
КамАЗ-55102	7,00	6580	2500	2700	3965	2310	816	6,20
МАЗ-5549	8,00	5785	2500	2785	3285	2285	700	5,70
КрАЗ-256В1	12,00	8100	2640	2830	4440	2430	650	6,00
ГАЗ-САЗ-53Б	3,55	6440	2475	2675	3730	2280	1060	5,00
САЗ-3502	3,20	5810	2470	2410	2860	2260	1040	4,25
САЗ-3503	2,40	5260	2250	2150	2660	2000	590	3,20
САЗ-3504	2,25	5250	2178	2150	2300	1800	435	2,00
Татра-138S1	12,70	7140	2450	2585	3500	2120	750	5,60
Татра-148S1M	15,00	7165	2500	2645	3800	2150	1156	9,00
Магirus-232D	10,00	6860	2500	2790	4300	2300	600	6,80