

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

Кафедра безопасности производств

# **НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК**

*Методические указания по курсовому проектированию  
для студентов специальностей 21.05.04, 20.03.01.*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ  
2019**

**НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК:** Методические указания по курсовому проектированию / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *Д.А. Иконников, А.Н. Никулин*. СПб.: 2019. 17 с.

Методические указания призваны помочь студенту при оформлении пояснительной записки и графических материалов курсовой.

Методические указания составлены в соответствии с утвержденной программой курса по изучению дисциплины «Надежность технических систем и техногенный риск».

Предназначены для студентов специальности 21.05.04 «Горное дело» специализации «Технологическая безопасность и горноспасательное дело», студентов направления подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность» профиля подготовки «Безопасность технологических процессов и производств».

Табл. 1. Приложений: 2. Ил. 4. Библиогр.: 9 назв.

Научный редактор заведующий кафедрой *Г.И. Коршунов*

© Санкт-Петербургский  
горный университет, 2019

## **ВВЕДЕНИЕ**

С развитием техники и внедрением новых технических решений особую важность приобрели многочисленные вопросы повышения надежности и безопасности различного рода устройств и технических систем. Комплексная механизация и автоматизация производственных процессов ставит перед руководителями производств исключительно ответственные задачи, которые должны выполняться безупречно на протяжении всего периода работы технических систем.

Особенность всякой технической системы состоит в том, что при отказе весьма ограниченного числа ее элементов наступает отказ системы, он может привести к тяжелым последствиям-авариям, несчастным случаям на производстве или даже к смертельным исходам.

Цель курсовой работы – развитие навыков самостоятельного анализа проблем надежности, безаварийности и безопасности различных технических объектов (приборов, устройств, машин, систем), практическая реализация знаний и умений, навыков студентов в области надежности технических систем и техногенного риска путем решения учебных примеров и инженерных задач по теории надежности, определения показателей безаварийности, безопасности технических объектов и техногенного риска. Курсовая работа является самостоятельной теоретической и практической работой студента.

Методическую основу анализа проблем надежности, безаварийности и безопасности различных технических объектов составляет системный анализ имеющихся в научно-технической и периодической литературе сведений о надежности и безопасности эксплуатации технических объектов различного назначения, статистических данных об авариях и катастрофах на подобных объектах и последствиях техногенного воздействия на персонал, окружающую среду. Для проведения такого анализа может быть использован перечень рекомендуемой литературы, а также дополнительные источники, в том числе справочный, нормативный материал, издания средств массовой информации, периодики, интернет издания.

Оформление пояснительной записки должно соответствовать действующим стандартам ГОСТ 2.105-79 «Общие требования к текстовым документам», ГОСТ 2.106-68 «Текстовые документы», ГОСТ 7.32-2001 «Отчёт о научно-исследовательской работе», ГОСТ 7.82-2001 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическая запись. Библиографическое описание электронных ресурсов. Общие требования и правила оформления». Требования к оформлению графической части курсовых и выпускных квалификационных работ установлены в соответствии со стандартами Единой системы конструкторской документации (ЕСКД) и Горно-графической документации (ГГД).

Курсовой проект выполняется студентами в соответствии с учебным планом по индивидуальному заданию. Консультируют работу преподаватели кафедры безопасности производств. Законченный курсовой проект сдается для проверки руководителю курсового проектирования и при положительной оценке допускается к защите.

## ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

**Задание 1:** рассчитать максимально возможное количество элементов в системе горнопроходческого комбайна (далее комбайна) при следующих условиях:

- гамма-процентная наработка комбайнов равна 90%;
- средняя наработка до отказа составляет ... часа (Табл.1.

Приложение 1);

- исходные данные по наработке до отказа элементов в системе и по средней наработке до отказа комбайна каждый студент получает в соответствии с вариантом от преподавателя, а также используя Приложение 1.

**Задание 2:** найти вероятность надежной работы комбайна при условии одновременного отказа двух элементов системы.

- номограмма вероятности надежной работы элементов для нормального закона распределения представлена в Приложении 2 «Номограмма для расчета ресурса».

**Задание 3:** дайте определение методу повышения надежности (выбирается один из методов повышения надежности систем согласно с вариантом от преподавателя), опишите его достоинства и недостатки, приведите минимум три примера их реализации.

## ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### *Задание 1*

Данные по наработке до отказа составных элементов системы представлены в Табл.1. Приложение 1

Определяем среднее значение наработки до отказа составных элементов системы

В данном случае имеется 120 экспериментальных значений.

Типичной мерой для представления центра данных служит *среднее арифметическое* или *математическое ожидание* (ожидаемое значение)

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (1)$$

где  $x_i$  – результат отдельного измерения;  $n$  – число выполненных измерений.

Используя исходные данные, рассчитываем среднее арифметическое значение наработки до отказа по формуле (1):

$$\bar{x} = 360,658 \text{ часа}$$

Строим гистограмму распределения:

Гистограммы – один из вариантов столбчатой диаграммы, дающей наглядное изображение того, с какой частотой повторяется то или иное значение или группа значений. Гистограмма показывает размах изменчивости процесса, помогает понять его вариабельность и положение относительно границ допуска. Она строится в следующей последовательности:

1. Определяются наибольшее и наименьшее значения показателя.
2. Определяется диапазон гистограммы как разность между наибольшим и наименьшим значениями указанного показателя.
3. Определяется число интервалов гистограммы. Для расчета рекомендуемого числа интервалов можно пользоваться приближенной формулой:  $K=1+3,3 \lg n$  (где  $K$  - число интервалов;  $n$  - число значений). Например, если  $n = 50$ , то рекомендуемое число интервалов гистограммы – 7. Если же  $n$  приближается к 1000, то число интервалов – 11.
4. Определяется ширина интервала гистограммы путем деления диапазона гистограммы на число интервалов. В случае, когда ширина интервала не превышает двукратной цены деления измерительного средства, необходимо уменьшить число интервалов  $K$ , чтобы не получить полигон частот вместо гистограммы распределения.
5. Диапазон гистограммы разбивается на интервалы.
6. Подсчитывается число попаданий результатов в каждый интервал.
7. Определяется частота попаданий в интервал, путём деления числа попаданий на общее число показателей качества.
8. Строится столбчатая диаграмма (рис. 1).

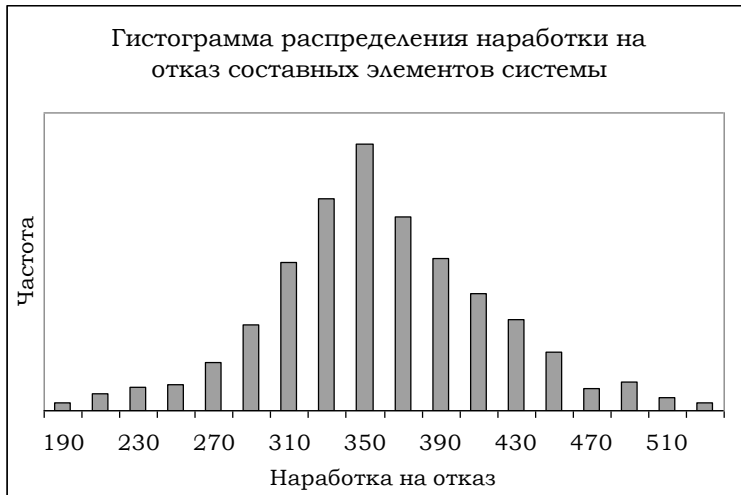


Рис. 1. Гистограмма распределения наработки на отказ составных элементов системы.

Исходя из гистограммы, мы видим, что распределение наработки на отказ элементов системы подчиняется нормальному закону (рис. 2).

Функция распределения

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}} dx,$$

Где:  $a$  – математическое ожидание;  $x$  – текущее значение случайной величины;  $\sigma$  - среднеквадратическое отклонение;

Вероятность безотказной работы:

$$P(x) = 1 - F(x)$$

Плотность распределения:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-a)^2}{2\sigma^2}}$$

Коэффициент вариации:

$$V = \frac{\sigma}{a}$$

Для нормально распределенной случайной величины все рассеивание укладывается со следующей точностью:

$$\begin{aligned} a = \pm \sigma & P(x) = 0,682 \\ a = \pm 2\sigma & P(x) = 0,954 \\ a = \pm 3\sigma & P(x) = 0,9973 \end{aligned}$$

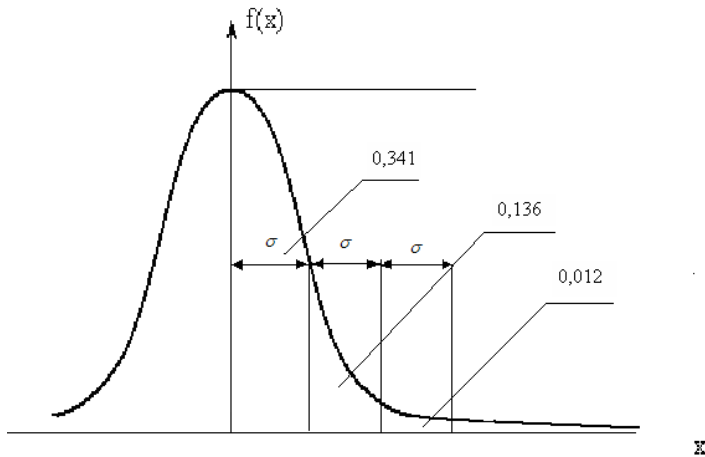


Рис.2. Графическое изображение нормального закона распределения (распределения Гаусса)

Для оценки рассеяния данных относительно центра служит *стандартное отклонение*  $\sigma$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} . \quad (2)$$

Вычисляем стандартное отклонение по формуле (2):

$$\sigma = 33,662 \text{ час}$$

Теперь нужно определить вероятность выхода из строя одного элемента системы в случае его использования в комбайне со средним значением наработки до отказа 248,2 часа

Определяем, сколько значений  $\sigma$  укладывается в интервал от 360,66 часа до 248,2 часа (см.рис.3.)



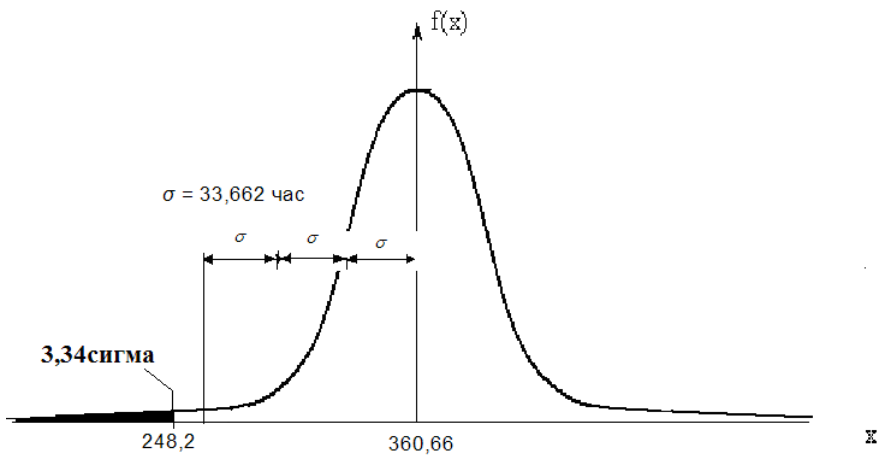


Рис. 3.

$$\Delta = (360,658 - 248,2) / 33,662 = 3,34$$

По номограмме находим % вероятности выхода из строя одного элемента системы в случае его использования в течение 248,2 часа  $\sim 0,085\%$

Составляем таблицу (таб. 1) вероятности надежной работы комбайна в случае использования нескольких элементов системы.

Для случая одного элемента % вероятности выхода из строя одного элемента равен  $0,085$ . Вероятность надежной работы одного элемента равна:

$$(100\% - 0,085\%) / 100 = 0,99915$$

Для случая использования в комбайне двух элементов системы = вероятность надежной работы комбайна равна:

$$0,99915^2 = 0,9983.$$

Поскольку заданный гамма-процентный ресурс равен  $90\%$ , то при использовании 2-х элементов системы он не будет преодолен.

Таблица 1.

Количество элементов системы	Вероятность надежной работы	Заданный Гамма-процентный ресурс
1	0,99915	
2	$0,99915^2 = 0,9983$	
3	$0,99915^3 = 0,9975$	
4	$0,99915^4 = 0,9966$	
5	$0,99915^5 = 0,9958$	
6	$0,99915^6 = 0,995$	
7	$0,99915^7 = 0,994$	
8	$0,99915^8 = 0,9932$	
9	$0,99915^9 = 0,9923$	
10	$0,99915^{10} = 0,9915$	
....	....	
....	....	
124	$0,99915^{124} = 0,9$	0,9

При большем количестве элементов заданный гамма-процентный ресурс будет преодолен.

Ответ: Количество используемых элементов в конструкции комбайна для обеспечения заданного гамма-процентного ресурса, равного 90%, не должно превышать 124

#### Задание 2.

Найти вероятность надежной работы комбайна при условии одновременного отказа двух элементов системы.

Исходные условия:

- Количество используемых элементов в конструкции комбайна составляет 124

- Вероятность надежной работы одного элемента  $P_1$  равна 0,99915

Решение:

Вероятность выхода из строя каждого элемента  $F_1$  равна:

$$F_1 = 1 - P_1 = 1 - 0,99915 = 0,00085$$

Вероятность годной работы комбайна при условии одновременного отказа двух элементов системы равна (122 рабочих элементов из 124):

$$P = P_1^{122} \cdot (1 - F_1 \cdot F_1) = 0,9915^{122} \cdot (1 - 0,00085 \cdot 0,00085) = 0,9$$

Задание 3.

Структурное резервирование с постоянным резервированием схем как метод повышения надежности технической системы.

Резервирование – способ обеспечения надёжности объекта за счёт использования дополнительных средств и (или) возможностей, избыточных по отношению к минимально необходимым для выполнения требуемых функций.

Суть структурного резервирования заключается в том, что в минимально необходимый вариант системы, элементы которой называют основными, вводятся дополнительные элементы, устройства либо даже вместо одной системы предусматривается использование нескольких идентичных систем.

Постоянное резервирование – это резервирование, при котором используется нагруженный резерв и при отказе любого элемента в резервированной группе выполнение объектом требуемых функций обеспечивается оставшимися элементами без переключений (рис. 4).

При этом основные и резервные элементы могут иметь общий вход и общий выход, в частности гальваническую связь по входу и выходу, а могут быть и автономными, т. е. такой связи не иметь.

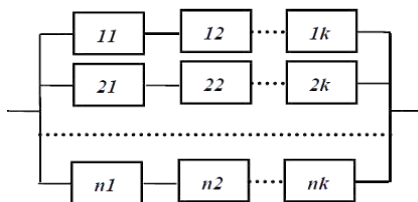


Рис. 4. Общее резервирование и постоянное включение резерва

При постоянном резервировании деление элементов на основные и резервные носит условный характер. Различают следующие способы соединения элементов резервируемого узла.

1. Параллельный. Такой способ соединения используется в случае преобладания отказов типа "обрыв" (например, для резисторов).

2. Последовательный. Этот способ применяется тогда, когда преобладают отказы типа «короткое замыкание» (например, для конденсаторов).

3. Смешанный. Такой способ применяется тогда, когда отказы типа "обрыв" и типа короткое замыкание примерно равновероятны, например, для полупроводниковых диодов.

На практике рассматриваемое постоянное резервирование используют тогда, когда между какими-то точками электрической схемы необходимо обеспечить наличие определенных свойств (резистивных, емкостных, полупроводящих, усилительных и т. д.), а количественное значение характеристики, описывающей эти свойства, не играет принципиальной роли.

Основными достоинствами постоянного резервирования являются: простота технической реализации и отсутствие даже кратковременного перерыва в работе в случае отказа элементов резервируемого узла. Это особенно важно для вычислительной техники и устройств цифровой обработки информации.

Основные недостатки постоянного резервирования:

1) меньший выигрыш в надёжности по сравнению с резервированием замещением;

2) изменение электрического режима работы элементов резервируемого узла при отказе хотя бы одного из элементов;

3) отказ резервируемого узла в целом при замыкании одного из элементов в случае параллельного способа соединения элементов в узле;

4) отказ резервируемого узла в целом при обрыве одного из элементов в случае последовательного соединения элементов в узле.

## РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

### Основной

1. *Акимов В.А.* Надежность технических систем и техногенный риск / В. А. Акимов, В. Л. Лапин, В. М. Попов, В. А. Пучков, В. И. Томаков, М. И. Фалеев. — М.: ЗАО ФИД «Деловой экспресс», 2002 — 368 с.
2. *Александровская Л.Н.* Статистические методы анализа безопасности сложных технических систем: Учебник/ Л.Н. Александровская, И.З. Аронов, А.И. Елизаров и др.-М.:Логос, 2001 .-232с.
3. *Бондаренко В.В.* Надёжность технических систем и техногенный риск: курс лекций/ В.В. Бондаренко. - Екатеринбург: Из-во УрГупс, 2014. -116 с.
4. *Воронин А.А.* Надежность информационных систем: Учебное пособие/ Воронин А.А., Морозов Б.И. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001, 89 с.
5. *Травин М.М.* Управление надежностью производственных систем в условиях рисков. Кострома, 2003.-211с
6. *Хенли Э.Дж.* Надежность технических систем и оценка риска / Э.Дж. Хенли, Х. Кумамото. Пер. с англ. В.С. Сыромятникова, Г.С. Деминой; Под общ. ред. В.С. Сыромятникова. М.: Машиностроение, 1984. 528 с.
7. *Шубин Р.А.* Надёжность технических систем и техногенный риск: учебное пособие / Р.А. Шубин. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 80 с.

### Дополнительный

1. *Решетов Д.Н.* Надежность машин / Д.Н. Решетов, А.С. Иванов, В.З. Фадеев. Учебное пособие для ВУЗов. М., 1988. -238с.
2. *Шувалов Ю.В.* Безопасность жизнедеятельности./ Ю.В.Шувалов, В.А.Рогалев, И.А.Павлов, С.Г.Гендлер. Учебное пособие., СПГИ(ТУ), 1998.-116с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЙ ПРОЕКТ.....	5
ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....	5
РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫЙ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	13
СОДЕРЖАНИЕ .....	14
ПРИЛОЖЕНИЕ .....	16



## ПРИЛОЖЕНИЕ

Приложение 1.

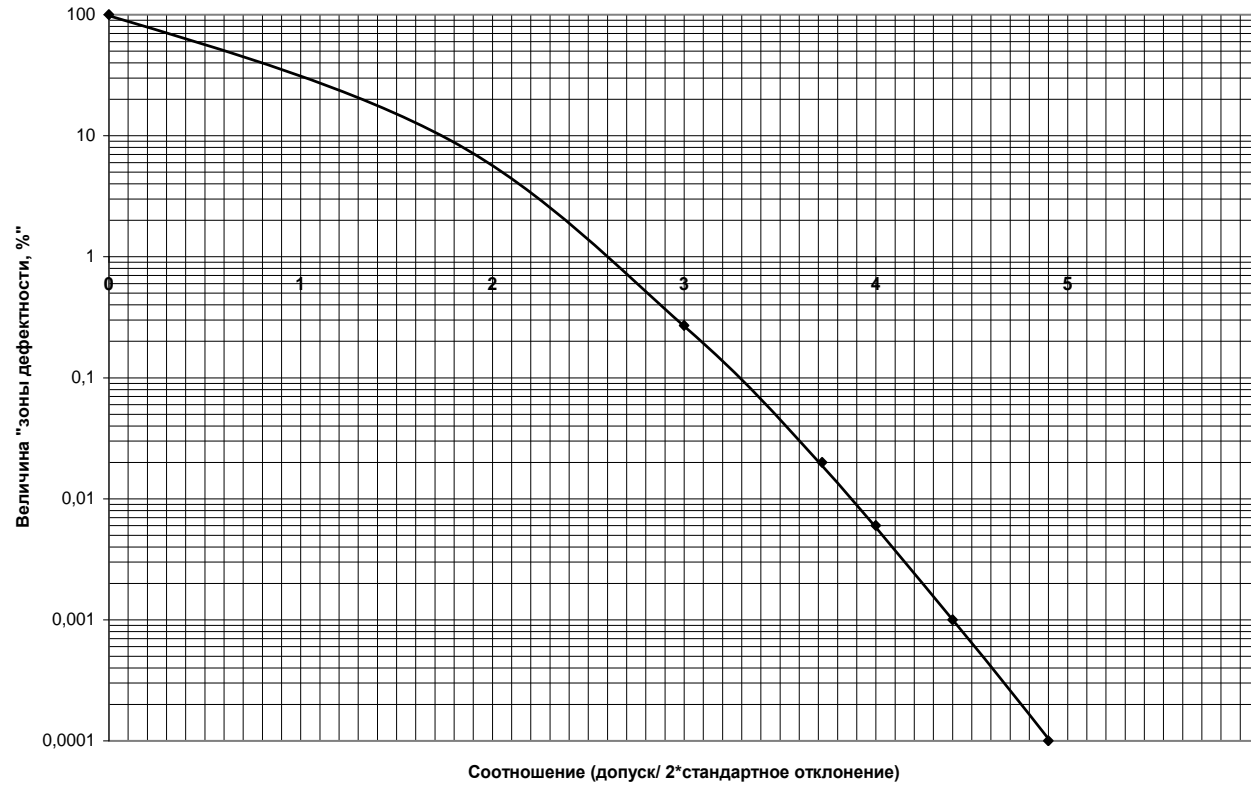
Таблица 1 Данные по наработке элементов системы

Наработка до отката, час	Наработка до отката, час	Наработка до отката, час	Наработка до отката, час
346	324	326	349
346	325	327	350
335	326	328	351
342	329	330	352
353	330	331	352
357	331	331	354
330	331	331	354
338	332	331	354
339	333	332	358
363	334	332	359
371	334	334	359
383	341	334	364
429	347	334	366
323	351	335	368
332	351	336	377
342	352	337	378
347	359	337	381
352	359	338	383
361	364	339	388
363	365	340	401
366	379	340	409
374	401	340	411
374	402	340	412
382	410	341	413
417	417	343	418
424	419	344	423
426	439	344	424
433	439	344	441
442	323	346	441
319	323	346	319





Номограмма для расчета ресурса



## **НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ТЕХНОГЕННЫЙ РИСК**

*Методические указания по курсовому проектированию  
для студентов специальностей 21.05.04, 20.03.01.*

Составитель *Д.А. Иконников*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой  
безопасности производств

Ответственный за выпуск *Д.А. Иконников*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 29.11.2016. Формат 60x84/16.

Усл. печ. л. 2,2. Усл.кр.-отг. 2,2. Уч.-изд.л. 1,6. Тираж 75 экз. Заказ 854. С 275.

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