**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ**

**Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»**

**ОТЧЕТ**

об исследовании

**Выполнила:** \_студент группы Б19-901\_\_ Бондаренко А.А.\_\_\_\_\_\_\_  
 (подпись) (Ф.И.О)

**Научный руководитель:** \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ Смирнов Д.С.\_\_\_\_\_\_\_  
 (оценка) (подпись) (Ф.И.О)

Москва 2023 г

**Оглавление**

[1.Исходные данные, цели и задачи исследования 3](#_Toc119228185)

[2.Оценка совокупных затрат на установку очистных сооружений 4](#_Toc119228186)

[3.Определение функций распределения 4](#_Toc119228187)

[3.1 Диоксид углерода 4](#_Toc119228188)

[3.2 Этиленоксид 7](#_Toc119228189)

[3.3 Хлор 10](#_Toc119228190)

[3.4 Диоксид углерода 13](#_Toc119228191)

[3.5 Угарный газ 16](#_Toc119228192)

[4.Оценка вероятности суточного штрафа каждого вида веществ при условии постоянного неблагоприятного ветра 19](#_Toc119228193)

[5.Расчёт совокупного штрафа каждого вида веществ при условии постоянного неблагоприятного ветра и выбор веществ, для которых сумма штрафов заведомо меньше затрат на установку и обслуживание очистных сооружений. 20](#_Toc119228194)

[6.Оценка полной вероятности получения штрафа при условии разной интенсивности разных направлений ветров 21](#_Toc119228195)

[7.Расчёт совокупного штрафа каждого вида веществ при условии разной интенсивности разных направлений ветров 22](#_Toc119228196)

[8.Вывод о предпочтительной стратегии поведения 23](#_Toc119228197)

# **1.Исходные данные, цели и задачи исследования**

Рассматривается модельная ситуация — существует предприятие обрабатывающей промышленности, чьи производственные процессы связаны с возможными выбросами вредных веществ.

Поблизости от предприятия располагается поселок городского типа. Начиная с 2022 года, в соответствии с решением региональных органов исполнительной власти, в поселке будут установлены системы мониторинга состава воздуха.

Предполагается, что вместе с установкой данных систем, в отношении организации будут ужесточены контрольные меры по случаям несоблюдения экологического законодательства.

В целом у компании есть 2 варианта стратегии по уменьшению негативного влияния от усиления экологического контроля:

1. можно установить очистное оборудования и поддерживать их работу, что связано с определенными капитальными затратами, но позволит избежать штрафных санкций,
2. можно допустить возможность получения штрафов, если их накопленная сумма за 5 лет (срок службы очистного оборудования) будет меньше капитальных затрат на установку.

**Цель исследования**: получение обоснованной рекомендации об оптимальной стратегии уменьшения негативного влияния на последующие 5 лет на основе анализа известных статистических данных

**Задачи исследования**:

* Оценка совокупных затрат на установку и обслуживание очистных сооружений
* Определение функций распределения для каждого из веществ
* Оценка вероятности суточного штрафа каждого вида веществ при условии постоянного неблагоприятного ветра
* Расчёт совокупного штрафа каждого вида веществ при условии постоянного неблагоприятного ветра
* Оценка полной вероятности получения штрафа при условии разной интенсивности разных направлений ветров
* Расчёт совокупного штрафа каждого вида веществ при условии разной интенсивности разных направлений ветров

# **2.Оценка совокупных затрат на установку очистных сооружений**

Оценка совокупных затрат на реализацию первой стратегии рассчитывается по следующей формуле:

*, где СЗатр - совокупные затраты  
 Суст – стоимость установки  
 Соб – стоимость ежегодного обслуживания*

Необходимые данные для расчета по всем веществам и результаты расчёта (совокупные затраты) представлены в таблице 1

Изображение выглядит как стол

Автоматически созданное описание

Таблица 2.1 Оценка совокупных затрат на установку очистных сооружений

# **3.Определение функций распределения**

Для того чтобы оценить степень близости распределений концентраций выбросов к известным теоретическим законам распределения использовался тест Колмогорова-Смирнова. Также были построены гистограммы плотности (с использованием правила Скотта), с наложенными на них эмпирической и теоретической функциями плотности, для следующих законов распределения:

* Нормальное распределение
* Бета-распределение
* Гамма-распределение
* Экспоненциальное распределение

## **Диоксид серы**

Далее представлены результаты оценки степени близости распределения концентрации выбросов диоксида серы к теоретическим законам распределения. На рисунках 3.2.1-3.2.4 представлены гистограммы выборки с наложенными на них теоретическими и эмпирическими функциями плотности, на рисунке 3.2.5 – результаты тестов Колмогорова-Смирнова.

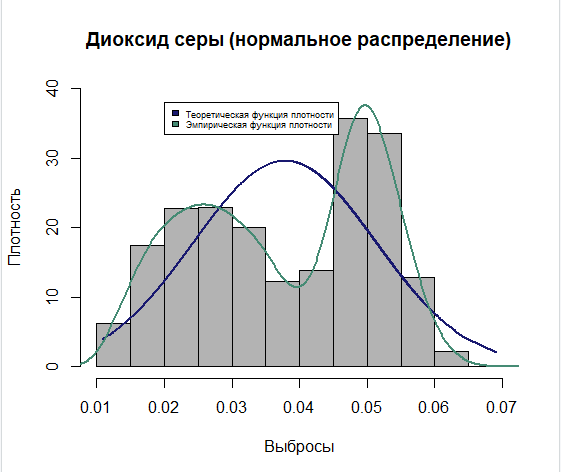


Рисунок 3.1.1 Гистограмма, теоретическая и эмпирическая функции плотности выборки “Диоксид серы” для нормального распределения

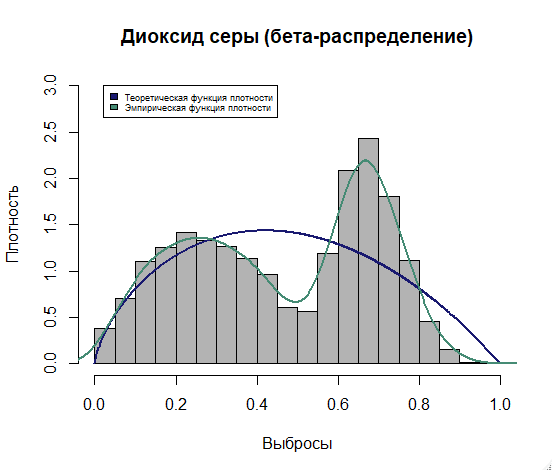


Рисунок3.1.2 Гистограмма, теоретическая и эмпирическая функции плотности выборки “Диоксид серы” для бета-распределения

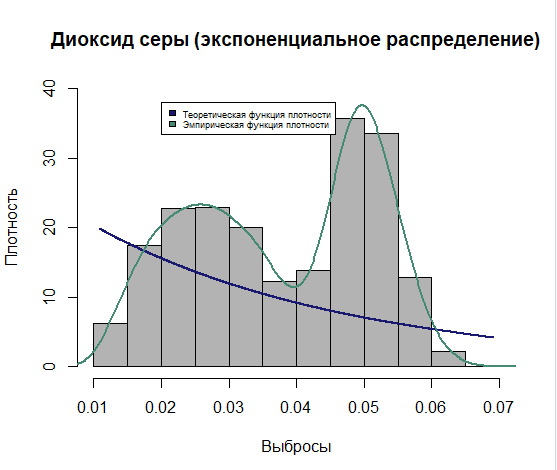


Рисунок 3.1.3 Гистограмма, теоретическая и эмпирическая функции плотности выборки “Диоксид серы” для экспоненциального распределения

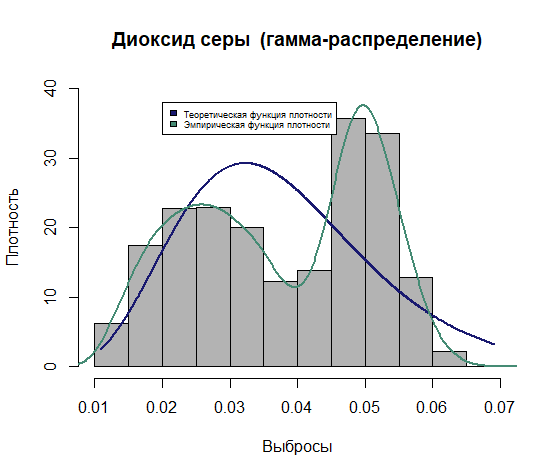


Рисунок 3.1.4 Гистограмма, теоретическая и эмпирическая функции плотности выборки “Диоксид серы” для гамма-распределения

Изображение выглядит как стол

Автоматически созданное описаниеx

Рисунок 3.2.5 Результаты тестов Колмогорова-Смирнова выборки "Диоксид серы"

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в ходе проверок было определено, что **выборка «Диоксид серы» не подчинена ни одному из рассмотренных законов распределения**. Следовательно, необходимо сформировать эмпирическую функцию распределения – рисунок 3.2.6

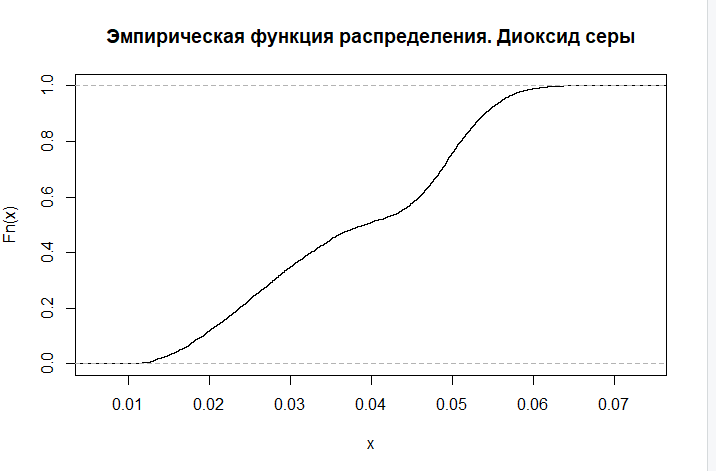


Рисунок 3.1 6 Эмпирическая функция распределения выборки "диоксид серы"

## **Этиленоксид**

Далее представлены результаты оценки степени близости распределения концентрации выбросов диоксида серы к теоретическим законам распределения. На рисунках 3.2.1-3.2.4 представлены гистограммы выборки с наложенными на них теоретическими и эмпирическими функциями плотности, на рисунке 3.2.5 – результаты тестов Колмогорова-Смирнова.

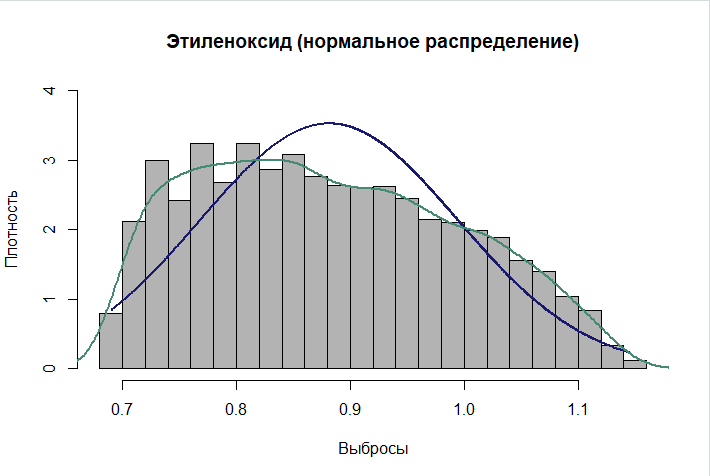


Рисунок 3.2.1 Гистограмма, теоретическая и эмпирическая функции плотности выборки “Этиленоксид” для нормального распределения

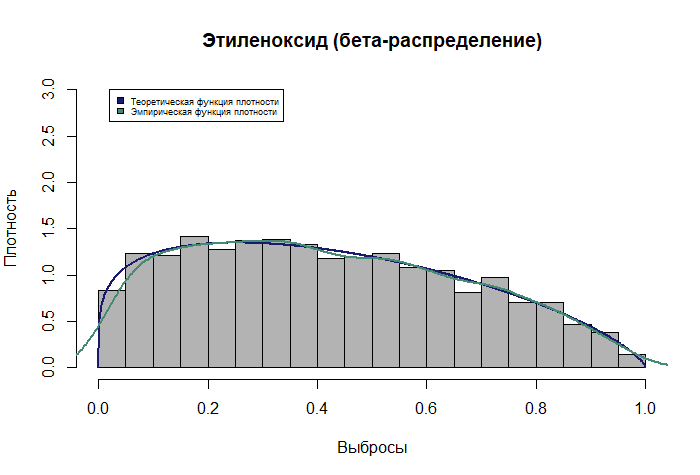


Рисунок3.2.2 Гистограмма, теоретическая и эмпирическая функции плотности выборки “ Этиленоксид” для бета распределения

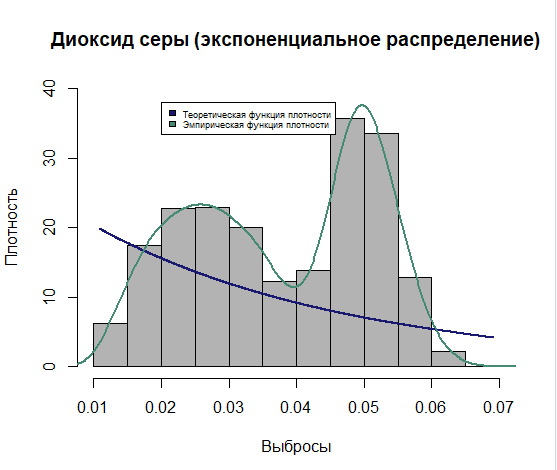


Рисунок 3.2.3 Гистограмма, теоретическая и эмпирическая функции плотности выборки “ Этиленоксид” для экспоненциального распределения

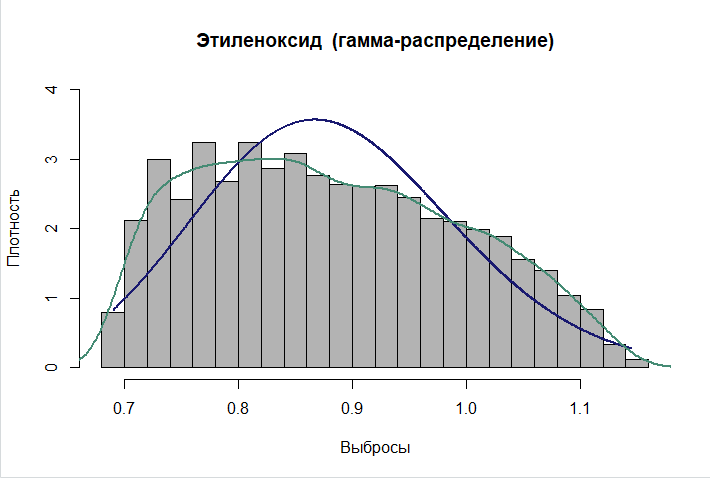


Рисунок 3.2.4 Гистограмма, теоретическая и эмпирическая функции плотности выборки “ Этиленоксид” для гамма-распределения

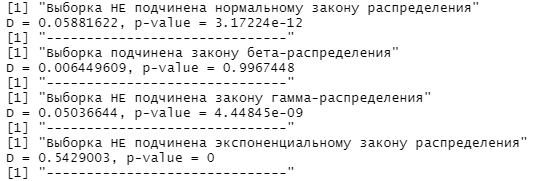
 x

Рисунок 3.2.5 Результаты тестов Колмогорова-Смирнова выборки "Этиленоксид"

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в ходе проверок было определено, что **выборка «Этиленоксид» подчинена закону бета распределения**.

## **Хлор**

Далее представлены результаты оценки степени близости распределения концентрации выбросов диоксида серы к теоретическим законам распределения. На рисунках 3.2.1-3.2.4 представлены гистограммы выборки с наложенными на них теоретическими и эмпирическими функциями плотности, на рисунке 3.2.5 – результаты тестов Колмогорова-Смирнова.

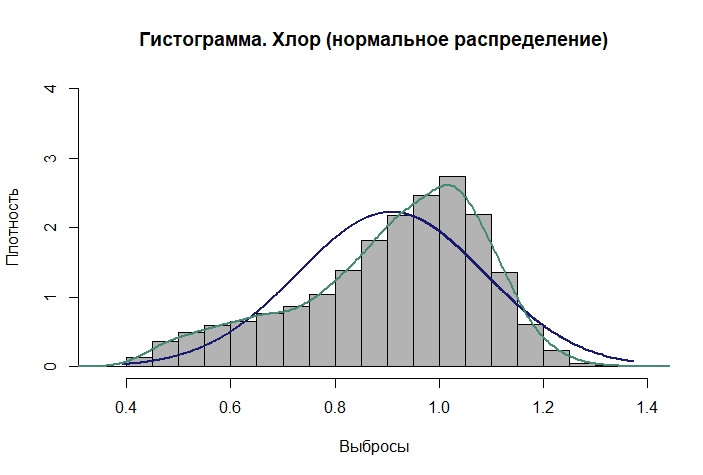


Рисунок 3.2.1 Гистограмма, теоретическая и эмпирическая функции плотности выборки “Хлор” для нормального распределения

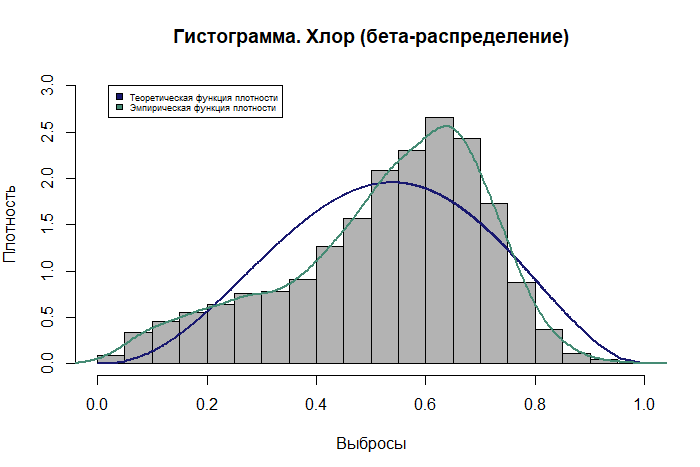


Рисунок3.2.2 Гистограмма, теоретическая и эмпирическая функции плотности выборки “Хлор” для бета-распределения

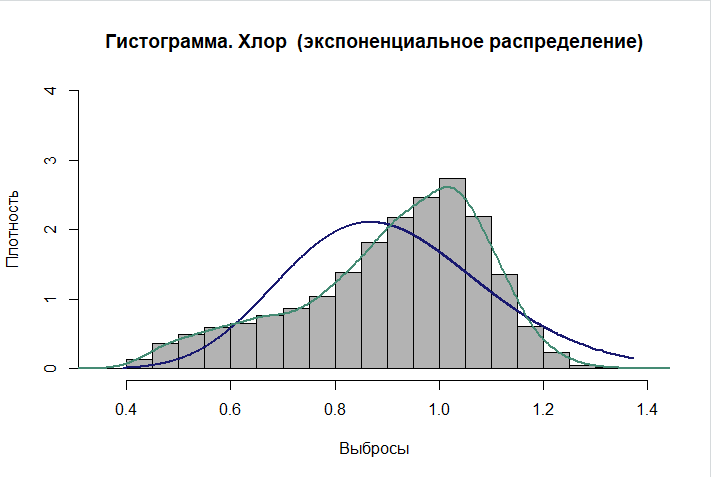


Рисунок 3.2.3 Гистограмма, теоретическая и эмпирическая функции плотности выборки “Хлор” для экспоненциального распределения

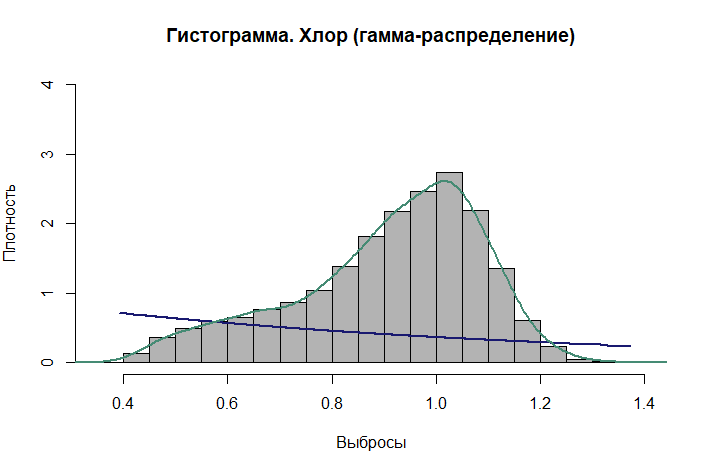


Рисунок 3.2.4 Гистограмма, теоретическая и эмпирическая функции плотности выборки “Хлор” для гамма-распределения

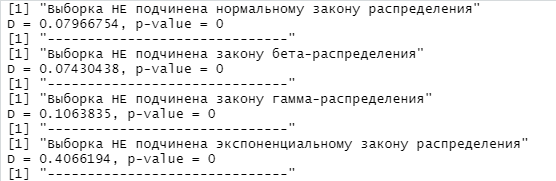
 x

Рисунок 3.2.5 Результаты тестов Колмогорова-Смирнова выборки "Хлор"

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в ходе проверок было определено, что **выборка «Хлор» не подчинена ни одному из рассмотренных законов распределения**. Следовательно, необходимо сформировать эмпирическую функцию распределения – рисунок 3.2.6

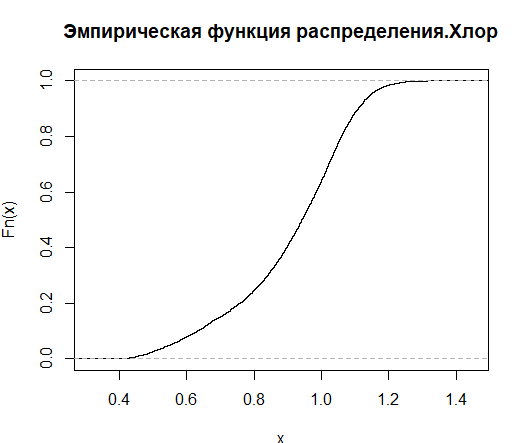


Рисунок 3.2 6 Эмпирическая функция распределения выборки "Хлор"

## **Диоксид углерода**

Далее представлены результаты оценки степени близости распределения концентрации выбросов диоксида серы к теоретическим законам распределения. На рисунках 3.2.1-3.2.4 представлены гистограммы выборки с наложенными на них теоретическими и эмпирическими функциями плотности, на рисунке 3.2.5 – результаты тестов Колмогорова-Смирнова.

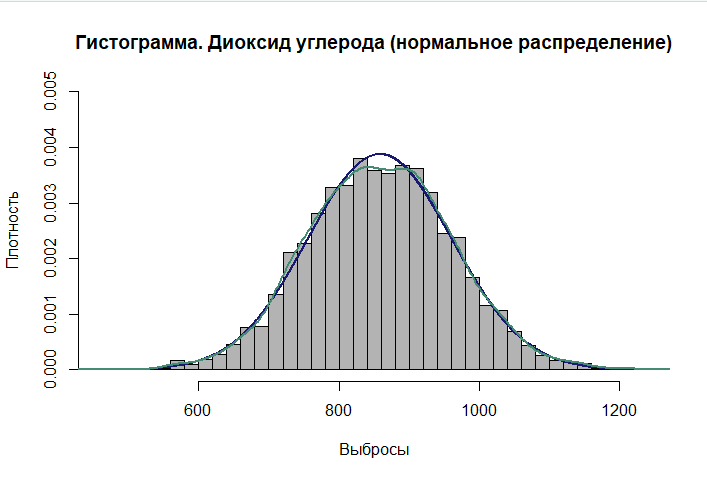


Рисунок 3.2.1 Гистограмма, теоретическая и эмпирическая функции плотности выборки “ Диоксид углерода ” для нормального распределения

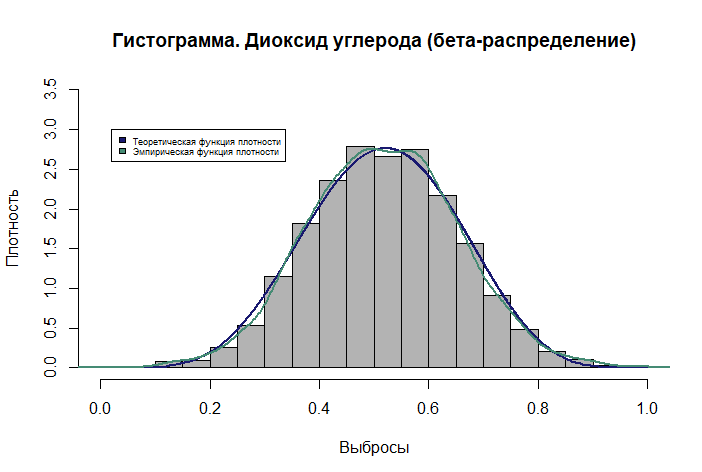


Рисунок3.2.2 Гистограмма, теоретическая и эмпирическая функции плотности выборки “ Диоксид углерода ” для бета распределения

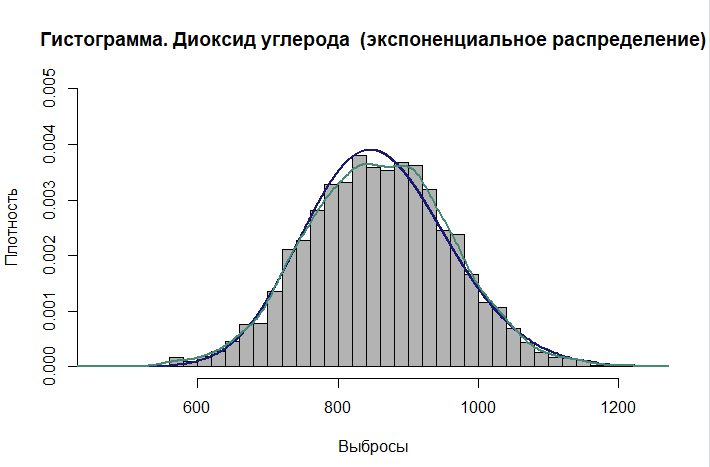


Рисунок 3.2.3 Гистограмма, теоретическая и эмпирическая функции плотности выборки “ Диоксид углерода ” для экспоненциального распределения

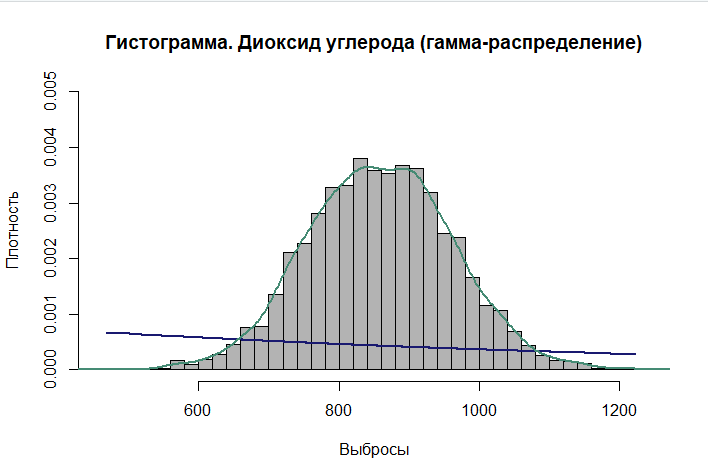


Рисунок 3.2.4 Гистограмма, теоретическая и эмпирическая функции плотности выборки “ Диоксид углерода ” для гамма-распределения

Изображение выглядит как текст

Автоматически созданное описание

Рисунок 3.2.5 Результаты тестов Колмогорова-Смирнова выборки "Диоксид углерода"

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в ходе проверок было определено, что **выборка «Диоксид углерода» подчинена закону бета распределения**.

## **Угарный газ**

Далее представлены результаты оценки степени близости распределения концентрации выбросов диоксида серы к теоретическим законам распределения. На рисунках 3.2.1-3.2.4 представлены гистограммы выборки с наложенными на них теоретическими и эмпирическими функциями плотности, на рисунке 3.2.5 – результаты тестов Колмогорова-Смирнова.



Рисунок 3.2.1 Гистограмма, теоретическая и эмпирическая функции плотности выборки “ Угарный газ ” для нормального распределения

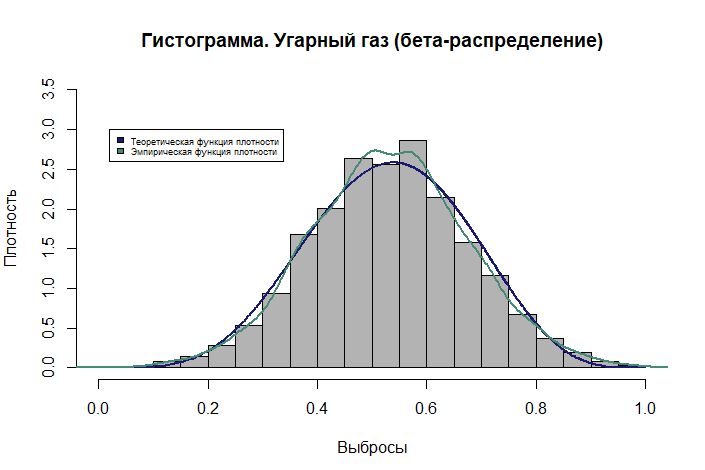


Рисунок3.2.2 Гистограмма, теоретическая и эмпирическая функции плотности выборки “ Угарный газ ” для бета распределения

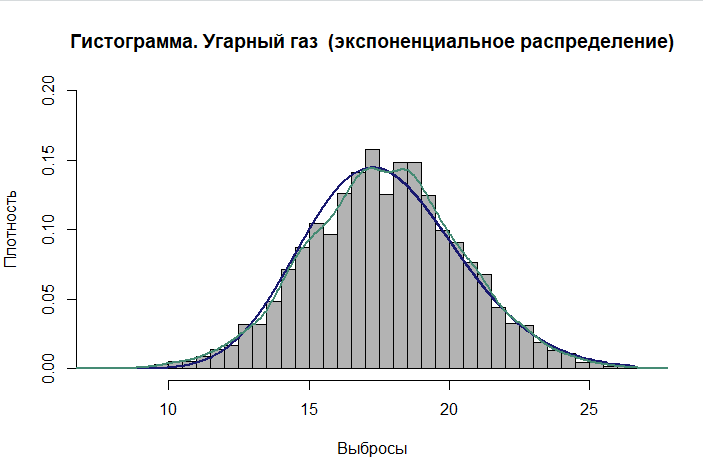


Рисунок 3.2.3 Гистограмма, теоретическая и эмпирическая функции плотности выборки “ Угарный газ” для экспоненциального распределения

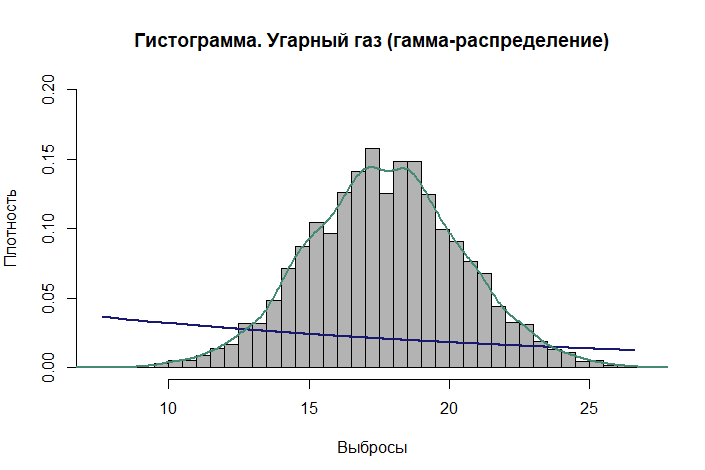


Рисунок 3.2.4 Гистограмма, теоретическая и эмпирическая функции плотности выборки “Угарный газ” для гамма-распределения

Изображение выглядит как текст

Автоматически созданное описание x

Рисунок 3.2.5 Результаты тестов Колмогорова-Смирнова выборки "Этиленоксид"

Таким образом, можно сделать вывод о том, что в ходе проверок было определено, что **выборка «Угарный газ» подчинена закону нормального распределения**.

# **4.Оценка вероятности суточного штрафа каждого вида веществ при условии постоянного неблагоприятного ветра**

Для оценки вероятности суточного штрафа каждого вида веществ при условии постоянного неблагоприятного ветра была выбрана ситуация из таблицы 4.1, когда ветер дует в сторону Юго-Востока, потому что при таком направлении оценка эффективности будет наибольшей.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Направление ветра | Дней\_в\_году | Оценка эффективности |
| Север | 21 | 0 |
| Северо-восток | 77 | 0 |
| Восток | 39 | 0.25 |
| Юго-восток | 54 | 0.5 |
| Юг | 96 | 0.9 |
| Юго-запад | 15 | 0.75 |
| Запад | 6 | 0.4 |
| Северо-запад | 57 | 0.1 |

Таблица 4.1 Роза ветров, дополненная оценкой эффективности

Далее представлены формулы для расчета оценок вероятностей суточных штрафов. Результаты расчета представлены в таблице 4.2

Исходя из условий задачи, считаем, что предельно допустимая концентрация веществ измеряется в поселке городского типа, а данные по выбросам веществ – на предприятии. Соответственно для оценки вероятности необходимо учесть, что завод должен производить концентрацию выбросов равную ПДК (оцененную в поселке)/оценку эффективности направления ветра.

Формула оценки вероятности суточного штрафа для веществ, неподчиненных никакому из проверяемых законов распределения:

*, где:*

*P[i] – вероятность суточного штрафа для i-го вещества   
ECDF[i] - функция распределения i-го вещества  
ПДК[i] – предельно допустимая концентрация i-го вещества  
Макс.Оц.Эфф. – максимальная оценка эффективности направления ветра*

Формула оценки вероятности суточного штрафа для нормального распределения:

*, где:*

*P[i] – вероятность суточного штрафа для i-го вещества   
pnorm – функция теоретического нормального распределения  
ПДК[i] – предельно допустимая концентрация i-го вещества  
Макс.Оц.Эфф. – максимальная оценка эффективности направления ветра*

*Mean(i) -мат. ожидание i-го вещества*

*Sd(i) - стандартное отклонение i-го вещества*

|  |  |
| --- | --- |
| Вещество | Вероятность.суточного.штрафа.при.условии.постоянного.неблагоприятного.ветра |
| Диоксид серы | 0,064171123 |
| Этиленоксид | 0,021152734 |
| Хлор | 0,097529921 |
| Диоксид углерода | 0,78341504 |
| Угарный газ | 0,049831266 |

Таблица 4.2 Таблица вероятностей суточного штрафа для всех веществ при условии постоянного неблагоприятного ветра

# **5.Расчёт совокупного штрафа каждого вида веществ при условии постоянного неблагоприятного ветра и выбор веществ, для которых** **сумма штрафов заведомо меньше затрат на установку и обслуживание очистных сооружений**.

Формула совокупного штрафа каждого вида веществ при условии постоянного неблагоприятного ветра:

, *где:*

*СШтр[i] – совокупный штраф за 5 лет для i-го вещества*

*Штр[i] - размер суточного штрафа для i-го вещества*

*P[i]- вероятность суточного штрафа для i-го вещества*

Результаты расчета для каждого из веществ приведены в таблице 5.1

|  |  |
| --- | --- |
| Вещество | Совокупный.штраф.при.условии.  постоянного.неблагоприятного.ветра.тыс.руб |
| Диоксид серы | 12882,35 |
| Этиленоксид | 4246,411 |
| Хлор | 16019,29 |
| Диоксид углерода | 300243,8 |
| Угарный газ | 15005,44 |

Таблица 5.1 Совокупный штраф для всех веществ при условии постоянного неблагоприятного ветра

Для того чтобы выделить такие вещества, для которых сумма штрафов заведомо меньше затрат на установку и обслуживание очистных сооружений, нужно сравнить полученные ранее совокупные штрафы и затраты на реализацию первой стратегии. Результаты сравнения приведены в таблице 5.2.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вещество | Совокупный.штраф.при.условии.постоянного.неблагоприятного.ветра.тыс.руб | Совокупные.затраты.на.установку.и.обслуживание.очистных.сооружений.тыс.руб | Разница.тыс.руб |
| Диоксид серы | 12882,35294 | 6021 | 6861,353 |
| Этиленоксид | 4246,411357 | 6021 | -1774,59 |
| Хлор | 16019,28953 | 2300 | 13719,29 |
| Диоксид углерода | 300243,814 | 10731 | 289512,8 |
| Угарный газ | 15005,44009 | 5420 | 9585,44 |

Таблица 5.2 Таблица совокупных штрафов каждого вещества при условии постоянного неблагоприятного ветра и совокупных затрат на установку и обслуживание очистных сооружений

Таблица 5.2 Таблица совокупных штрафов каждого вещества при условии постоянного неблагоприятного ветра и совокупных затрат на установку и обслуживание очистных сооружений

Таким образом, для вещества “Хлор” сумма штрафов заведомо ниже затрат на установку и обслуживание очистных сооружений при условии постоянного неблагоприятного ветра

# **6.Оценка полной вероятности получения штрафа при условии разной интенсивности разных направлений ветров**

Формула полной вероятности получения штрафа по каждому виду веществ при условии разной интенсивности разных направлений ветров(для веществ, неподчиненных никакому из проверяемых законов распределения):

, *где:*

*P[i] – вероятность суточного штрафа для i-го вещества  
ECDF[i] - функция распределения i-го вещества  
ПДК[i] – предельно допустимая концентрация i-го вещества*

*Оц.Эфф.[j] – оценка эффективности направления j-го ветра  
k – количество дней в который дул j-ый ветер*

Формула полной вероятности получения штрафа по каждому виду веществ при условии разной интенсивности разных направлений ветров(для нормального распределения):

*, где:*

*P[i] – вероятность суточного штрафа для i-го вещества   
pnorm – функция теоретического нормального распределения  
ПДК[i] – предельно допустимая концентрация i-го вещества  
Оц.Эфф.[j] –оценка эффективности направления j-го ветра*

*Mean(i) -мат. ожидание i-го вещества*

*Sd(i) - стандартное отклонение i-го вещества*

*k – количество дней в который дул j-ый ветер*

Результаты расчета представлены в таблице 6.1

|  |  |
| --- | --- |
| Вещество | Полная.вероятность.суточного.штрафа |
| Диоксид серы | 0,016888349 |
| Этиленоксид | 0 |
| Хлор | 0,02566217 |
| Диоксид углерода | 0,215639446 |
| Угарный газ | 0,013128631 |

Таблица 6.1 Полная вероятность получения штрафа при условии разной

интенсивности разных направлений ветров

# **7.Расчёт совокупного штрафа каждого вида веществ при условии разной интенсивности разных направлений ветров**

Формула совокупного штрафа каждого вида веществ при условии постоянного неблагоприятного ветра:

, *где:*

*СШтр[i] – совокупный штраф за 5 лет для i-го вещества*

*Штр[i] - размер суточного штрафа для i-го вещества*

*P[i]- вероятность суточного штрафа для i-го вещества*

Результаты расчета представлены в таблице 7.1

|  |  |
| --- | --- |
| Вещество | Совокупный.штраф.тыс.руб |
| Диоксид серы | 3390,336134 |
| Этиленоксид | 0 |
| Хлор | 4215,011459 |
| Диоксид углерода | 82643,81758 |
| Угарный газ | 3953,358936 |

Таблица 7.1 Совокупные штрафы для веществ при условии

разной интенсивности разных направлений ветров

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вещество | Совокупный.штраф.тыс.руб | Совокупные.затраты.на.установку.и.обслуживание.очистных.сооружений.тыс.руб | Разница.тыс.руб |
| Диоксид серы | 3390,336134 | 6021 | -2630,66 |
| Этиленоксид | 0 | 6021 | -6021 |
| Хлор | 4215,011459 | 2300 | 1915,011 |
| Диоксид углерода | 82643,81758 | 10731 | 71912,82 |
| Угарный газ | 3953,358936 | 5420 | -1466,64 |

Таблица 7.2 Таблица совокупных штрафов для всех веществ при условии разной интенсивности разных направлений ветров и совокупных затрат на установку и обслуживание очистных сооружений

Для того чтобы выделить такие вещества, для которых сумма штрафов заведомо меньше затрат на установку и обслуживание очистных сооружений, нужно сравнить полученные ранее совокупные штрафы и затраты на реализацию первой стратегии. Результаты сравнения приведены в таблице 7.2.

Таким образом, для всех веществ сумма штрафов заведомо больше затрат на установку и обслуживание очистных сооружений при условии разной интенсивности разных направлений ветров

# **8.Вывод о предпочтительной стратегии поведения**

Исходя из вышеуказанных выкладок, оптимальной стратегией является установка очистных сооружений и их обслуживание для следующих веществ:

* Хлор
* Диоксид углерода

Для следующих веществ будет предпочтительно выплачивать штрафы за превышение ПДК в течение следующих 5 лет:

* Диоксид серы
* Этиленоксид
* Угарный газ

Выводы о предпочтительных стратегиях поведения и затраты на их реализацию приведены в таблице 8.1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Вещество | Стратегия | Общие затраты, тыс.руб. |
| Диоксид серы | Выплата штрафов | 3390,336134 |
| Этиленоксид | Выплата штрафов | 0 |
| Хлор | Установка очистных сооружений и их обслуживание | 2300 |
| Диоксид углерода | Установка очистных сооружений и их обслуживание | 10731 |
| Угарный газ | Выплата штрафов | 3953,358936 |
| Общая сумма затрат за 5 лет:  20374,7  тыс.руб. | | |

Таблица 8.1 Выбор предпочтительной стратегии и расчет общих затрат