

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ имени С. М. КИРОВА

---

# МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ТЕХНИКИ, ТЕХНОЛОГИЙ И ЭКОНОМИКИ

Сборник материалов Всероссийской  
научно-практической студенческой конференции

Санкт-Петербург

9 июня 2021 года



**ПОЛИТЕХ-ПРЕСС**

Санкт-Петербургский  
политехнический университет  
Петра Великого

Санкт-Петербург

2021

ББК 22.1  
М34

**Математические методы и модели техники, технологий и экономики :**  
сборник материалов Всероссийской научно-практической студенческой конференции, Санкт-Петербург, 9 июня 2021 г. – СПб. : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2021. – 138 с.

Представлены статьи по материалам Всероссийской научно-практической студенческой конференции «Математические методы и модели техники, технологий и экономики». Статьи охватывают широкий круг вопросов построения математических моделей прикладных задач экономики, технологий, медицины, проблемы численной и аналитической реализации их решений.

Редакционная коллегия:

Доцент кафедры высшей математики СПбГЛТУ *Т. А. Осечкина*

Доцент кафедры высшей математики СПбГЛТУ *М. В. Тарабан*

Доцент кафедры технологических процессов

и машин лесного комплекса СПбГЛТУ *И. В. Бачеригов*

ISBN 978-5-7422-7364-6

© Санкт-Петербургский государственный  
лесотехнический университет  
имени С. М. Кирова, 2021

© Санкт-Петербургский политехнический  
университет Петра Великого, 2021

Секция 1. Математическое моделирование технологических процессов.

МОДЕЛИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ОЖИДАНИЕМ

Антонюк А.Э., Кайгородова Д.Е.

Научный руководитель: Алексеева С. В.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
имени С. М. Кирова, Санкт-Петербург

**Аннотация:** Работа посвящена анализу работы производственного цеха, как модели системы массового обслуживания с очередью определенной длины. Задача решалась путем составления математической модели функционирования системы для стационарного и нестационарного режимов, определением характеристик эффективности системы, поиском вероятностей пребывания системы в каждом из состояний и изменений коэффициентов загрузки и простоя машин в зависимости от времени.

**Ключевые слова:** вероятность, коэффициент простоя, загрузка машины, система массового обслуживания.

Выполним анализ работы цеха, состоящего из одной рубительной машины, имеющей показательный закон рубки с интенсивностью  $\mu$ . На рубку поступает простейший поток бревен с интенсивностью  $\lambda$ . Длинной очереди составляет не более  $m$  бревен.

Таблица 1. Исходные данные.

$\lambda, \text{час}^{-1}$	$\mu, \text{час}^{-1}$	$r$	$m$
4,46	2,7	1	2

Граф состояний системы имеет вид:

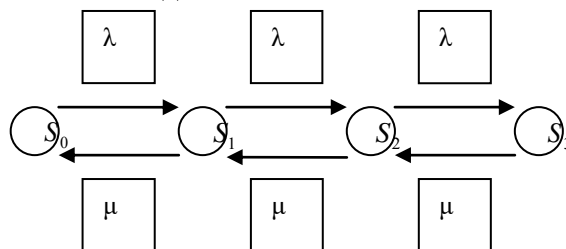


Рисунок 1. Граф состояний

Перечислим возможные состояния системы:

$S_0$  – в системе бревен нет, машина находится в состоянии покоя;

$S_1$  – в системе 1 бревно, машина работает;

$S_2$  – в системе 2 бревна, машина работает, при этом еще одно бревно на очереди;

$S_3$  – в системе 3 бревна, машина работает, при этом еще два бревна на очереди.

Пусть  $p_k$  – стационарная вероятность пребывания системы в состоянии  $S_k$ ,  $k = 0,1,2,3$ .

Для описания стационарного режима работы данной системы будем использовать систему дифференциальных уравнений А.Н. Колмогорова при  $t \rightarrow \infty$ :

$$\begin{cases} -\lambda p_0 + \mu p_1 = 0 \\ \lambda p_0 - (\mu + \lambda)p_1 + \mu p_2 = 0 \\ \lambda p_1 - (\mu + \lambda)p_2 + \mu p_3 = 0 \\ \lambda p_2 - \mu p_3 = 0 \end{cases} \quad (1)$$

Учитываем условие нормировки:

$$p_0 + p_1 + p_2 + p_3 = 1. \quad (2)$$

Расчет вероятностей выполнялся с помощью электронных таблиц Excel.

Таблица 2. Вероятности состояний системы стационарного режима.

$\lambda$	4,46	Решение системы алгебраических уравнений					
$\mu$	2,7	$p_0$	$p_1$	$p_2$	$p_3$		
		0,101136	0,167061	0,27596	0,455845		
		-4,46	2,7	0	0	-4,10E-09	0
		4,46	-7,16	2,7	0	-4,30E-08	0
		0	4,46	-7,16	2,7	-7,00E-08	0
		1	1	1	1	1,000001	

Из таблицы могут быть выписаны параметры эффективности стационарного режима на основе анализа найденных значений вероятностей состояний системы.

- $p_0 = 0,101136$  – вероятность того, что машина в состоянии покоя;
- $p_1 = 0,167061$  – вероятность того, что машина работает;
- $p_2 = 0,27596$  – вероятность того, что машина работает и одно бревно на очереди;
- $p_3 = 0,455845$  – вероятность того, что машина работает и два бревна на очереди.

Обозначим через  $X$  – число машин, занятых рубкой. Это случайная величина с возможными значениями: 0, 1. Вероятности этих значений соответственно равны

$$P(X = 0) = p_0 = 0,101136,$$

$$P(X = 1) = p_1 + p_2 + p_3 = 0,167061 + 0,27596 + 0,455845 = 0,898866.$$

Тогда среднее число машин, которые находятся в работе

$$M(X) = 0 \cdot P(X = 0) + 1 \cdot P(X = 1) = 0,898866.$$

Пусть  $Y$  – число машин, свободных от рубки. Это случайная величина с возможными значениями: 0, 1. Вероятности этих значений соответственно равны

$$P(Y = 0) = p_1 + p_2 + p_3 = 0,898866, \quad P(Y = 1) = p_0 = 0,101136.$$

Тогда среднее число машин, свободных, находящихся в состоянии покоя

$$M(Y) = 0 \cdot P(Y = 0) + 1 \cdot P(Y = 1) = 0,101136 \quad M(X) + M(Y) = r = 1.$$

Определим коэффициент загрузки машин как отношение среднего числа занятых машин к общему числу машин, т.е.  $k_3 = \frac{M(X)}{r}$ . В процентах он равен  $k_3 = \frac{0,9}{1} \cdot 100\% = 90\%$ .

Коэффициент простоя машин равен отношению среднего числа свободных машин к общему числу машин, т.е.  $k_{II} = \frac{M(Y)}{r}$ . Тогда в процентах  $k_{II} = \frac{0,10}{1} \cdot 100\% = 10\%$ .

Пусть  $Z$  – число бревен в очереди. Это есть случайная величина с возможными значениями: 0, 1, 2. Вероятности этих значений соответственно равны

$$\begin{aligned} P(Z=0) &= p_0 + p_1 = 0,101136 + 0,167061 = 0,268197, \\ P(Z=1) &= p_2 = 0,27596, \\ P(Z=2) &= p_3 = 0,455845. \end{aligned}$$

Тогда среднее бревен в очереди есть математическое ожидание случайной величины  $Z$ , которое равно

$$M(Z) = 0 \cdot P(Z=0) + 1 \cdot P(Z=1) + 2 \cdot P(Z=2) = 0,27596 + 2 \cdot 0,455845 = 1,18765.$$

Таким образом, среднее число бревен, находящихся в очереди на рубку, равно 1,19, т.е. более одного бревна.

Обозначим через  $p_k(t)$  вероятность пребывания системы в момент времени  $t$  в состоянии  $S_k$ ,  $k = 0, 1, 2, 3$ . Это – переходные вероятности, меняющиеся со временем. Нестационарный режим функционирования системы может быть описан, согласно графу состояний, системой дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} p_0'(t) = -\lambda p_0(t) + \mu p_1(t) \\ p_1'(t) = \lambda p_0(t) - (\mu + \lambda) p_1(t) + \mu p_2(t) \\ p_2'(t) = \lambda p_1(t) - (\mu + \lambda) p_2(t) + \mu p_3(t) \\ p_3'(t) = \lambda p_2(t) - \mu p_3(t) \end{cases} \quad (3)$$

Решение данной системы произведем в Excel методом Эйлера с учетом начальных условий

$$p_0(0) = 1, p_1(0) = p_2(0) = p_3(0) = 0, \quad (4)$$

и условия нормировки

$$p_0(t) + p_1(t) + p_2(t) + p_3(t) = 1, \quad (5)$$

Таблицы 3 и 4. Вероятности состояний системы нестационарного режима.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	$\lambda$	4,46	Решение системы дифференциальных уравнений					
2	$\mu$	2,7	t	$p_0(t)$	$p_1(t)$	$p_2(t)$	$p_3(t)$	$\Sigma$
3	h	0,1	0	1	0	0	0	1
4			0,1	0,554	0,446	0	0	1
5			0,2	0,427336	0,373748	0,198916	0	1
6			0,3	0,337656	0,350444	0,223183752	0,08871654	1
7			0,4	0,281681	0,31038	0,243635499	0,16430302	1
8			0,5	0,239854	0,279559	0,251983877	0,22860264	1
...			...	...	...	...	...	...
79			7,6	0,101135	0,167061	0,275959559	0,45584431	1
80			7,7	0,101135	0,167061	0,275959559	0,45584431	1

	...	I	J
1	...		
2	...	$k_3(t)$	$k_{II}(t)$
3	...	0	1
4	...	0,446	0,554
5	...	0,572664	0,427336
6	...	0,662344	0,337656
7	...	0,718319	0,281681
8	...	0,760146	0,239854
...	...	...	...
52	...	0,898863	0,101137
53	...	0,898863	0,101137

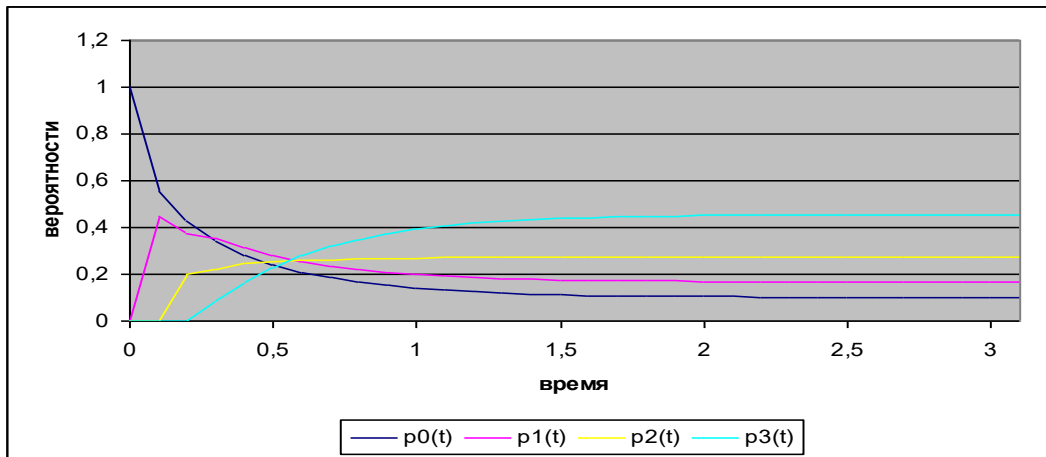


Рисунок 2. График вероятностей системы нестационарного режима.

Построенный график позволяет заключить, что процесс достаточно быстро входит стационарный режим, при котором вероятности находятся почти в неизменном состоянии, а графики становятся параллельны оси времени.

С помощью рассчитанных вероятностей состояний системы можно определить коэффициенты загрузки и простоя системы в зависимости от времени.

$$k_3(t) = \frac{1 * (p_1(t) + p_2(t) + p_3(t))}{1} \quad (6)$$

$$k_n(t) = \frac{1 * p_0(t)}{1} \quad (7)$$

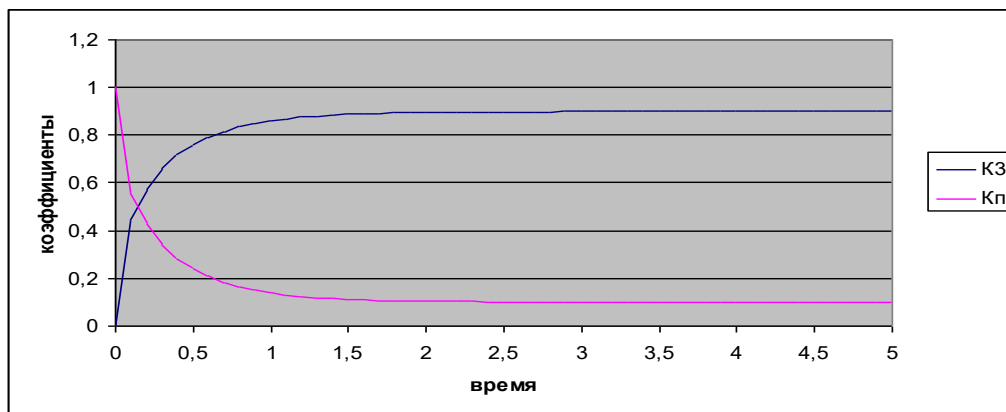


Рисунок 3. График коэффициентов загрузки и простоя машин в цехе.

Из полученных функциональных зависимостей заключаем, с течением времени загрузка машины растет, и уже через 2 часа становится равной 90%. Как видно из графика, коэффициент простоя машины с течением времени убывает и через 2 часа составляет 10%. Таким образом, можно сделать вывод о достаточно сильной загрузке машины и рекомендовать проведение таких мероприятий, как:

- уменьшение потока бревен,
- установка в цехе еще одной рубительной машины.

Список литературы

1. Половко А.М., Гуров С.В. Основы теории надежности, С-Пб, БХВ-Петербург, 2006, 702 с.
2. Солнышкина И.В. Теория систем массового обслуживания: учебное пособие, Комсомольск-на-Амуре: ФГБОУ ВПО «КНАГТУ», 2015, 76 с.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПЛОТНЕНИЯ ПОЧВЫ КОМЛЯМИ ПАЧКИ  
ХЛЫСТОВ ПРИ ИХ ТРЕЛЕВКЕ**

**Сабанцев Д.А., Беспалов Р.С., Суриков А.С., Кабалик М.В.**

**Научный руководитель: Шапиро В.Я.**

**Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург**

***Аннотация:** В данной работе нашей командой была проделана исследовательская работа, результатом которой является описание модели уплотнения почвы комлями пачки хлыстов при их трелевке. В ней мы также изучили разрушительное влияние пачек хлыстов на почвогрунт в момент трелевки, создали математическую модель процесса разрушения почвогрунта. В этой работе мы предлагаем вам ознакомиться с результатами наших исследований.*

***Ключевые слова:** трелевочная система, пачка хлыстов, почвогрунт, модель разрушения.*

Данная работа рассматривает модель уплотнения почвы под воздействием пачки хлыста трелевочной системы с последующим изменением движения пути трелёвочного трактора.

В лесосеках, при вывозке пачек хлыстов трелёвочным трактором, волочащаяся часть кроны, верхушки древесины, комлей и трелевочной системы пагубно влияют на почвогрунт в границах волока, по которому они проходят. Так же дополнительно негативное влияние на этот процесс оказывает изменение траектории движения трактора, поскольку поддерживать заданный путь проблематично в лесной местности, вследствие чего возникают дополнительные силы, действующие на почву.

Для математического описания процесса взаимодействия обратимся к модели [1], которая получила развитие в работе [2] на принципах контактной механики разрушения сплошного массива (грунта) под воздействием различных штампов (трелевочной системы).

Необходимо отметить, что указанные принципы использованы при моделировании смежных вопросов лесотехнического комплекса, а именно при роторной окорке лесных балансов [3] и прессовании пропитанных материалов в процессе создания их модифицированных образцов [4].

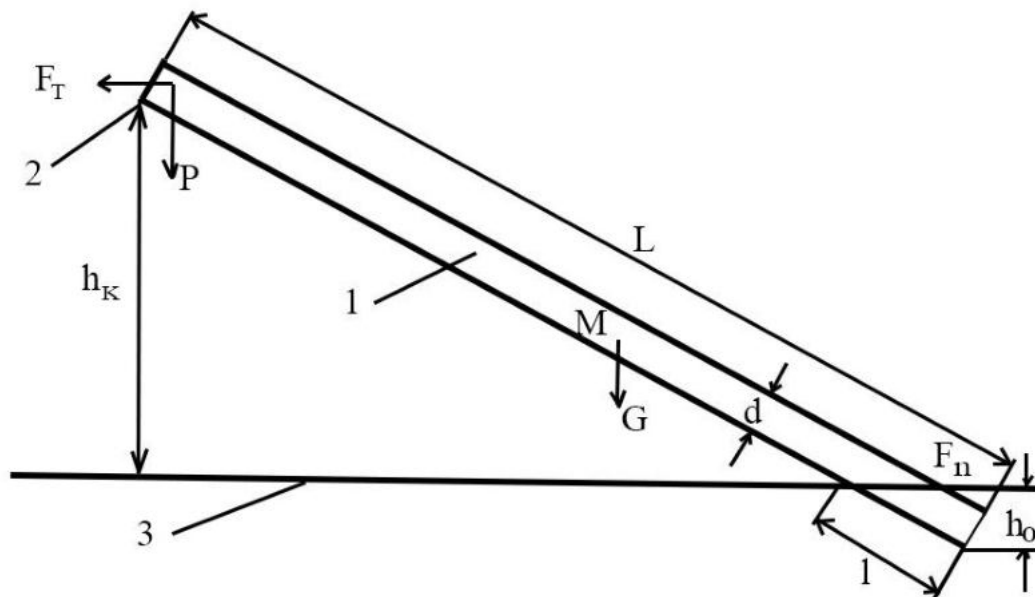


Рисунок 1. Схема взаимодействия пачки с почвогрунтом.

На рисунке 1 представлена схема погружения в грунт комлевой части хлыста, где обозначено:  $M$  – центр тяжести хлыста 1,  $h_k$  – расстояние от точки 2 опоры хлыста на конике до опорной поверхности 3,  $L$  – длина хлыста,  $l$  – длина хлыста в зоне касания и погружения на глубину  $h_0$ .

На рисунке 1 также обозначено:  $P$  – сила тяжести хлыста, действующая на трактор,  $G$  – сила тяжести хлыста, действующая на почву при трелевке. Из этих величин можно вывести общую силу тяжести хлыста  $Q=P+G$ . Вследствие этой суммарной силы тяжести, действующей на почву, происходит уплотнение грунта в пределах величины  $h_0$ .

Величина  $h_0$  на основании учета связи условного радиуса комля, полученного по таксационному значению диаметра ствола  $d$ , определяется в виде:

$$h_0 = (3^n \cdot \beta \cdot \frac{\pi h G}{A L \sqrt{d}})^{\frac{1}{n+1.5}}, \quad (1)$$

где коэффициент  $\beta \geq 1$  представляет собой отношение величины  $L$  к максимально возможной подвешенной части длины хлыста;  $A$  и  $n$  – параметры почвогрунта и штампа весом  $G$  с пятном контакта  $d$  в степенных зависимостях  $q = Ah^n$ , то есть в зависимостях величины давления штампа  $q$  от глубины его погружения  $h$  в пределах от 0 до глубины  $H$  зоны распространения деформаций.

Действующая на грунт часть хлыста объемом в коре  $V_x$  определяется в соответствии со значениями  $L$  и  $d$  по сортиментным таблицам древостоев и в расчетах представлена как равная по объему и весу сфера радиусом  $R = \sqrt[3]{\frac{0.7 \cdot V_x}{\pi}}$  с центром в точке  $M$ .



Для наглядного представления действия хлыстов на грунт, возьмём средние данные для единичного хлыста:

$$L = 28 \text{ м}; d = 0,24 \text{ м}; V_x = 0,59 \text{ м}^3; G = 2,125 \text{ кН};$$

$$h_k = 1,8 \text{ м}; l = 1,365 \text{ м}, \beta = 1,051. \quad (2)$$

Такое воздействие действующей части хлыста на почвогрунт позволяет учесть в модели вышеотмеченные принципы механики контактного разрушения при внедрении твердого сферического штампа радиусом  $R$  на упругое полупространство (рисунок 2).

В этой модели основной характеристикой воздействия является погружение твёрдого предмета в среду с определением следующих параметров: величины контактного сближения  $h_0$  и радиуса контактной площадки  $a = \sqrt{h_0 R}$ , на которой действует среднее начальное равномерное давление по площади  $q_0 = \frac{G}{\pi a^2} = \frac{G}{\pi h_0 R}$ .

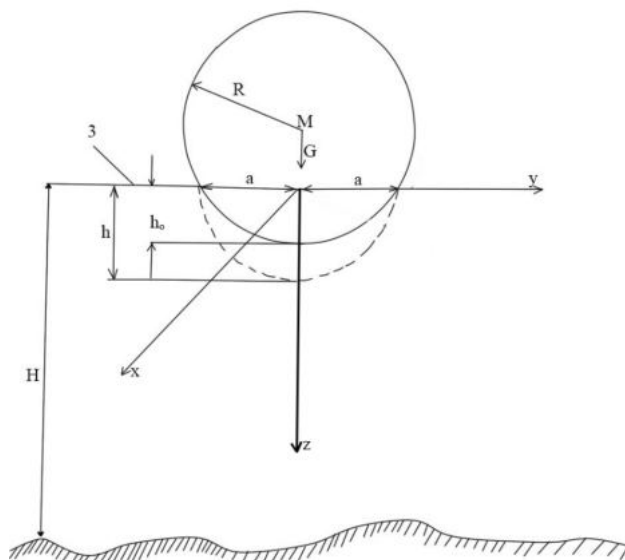


Рисунок 2. Схема расчета напряжений

Для определения зоны осадки ( $h_0$ ) и ее зависимости от веса хлыста и его длины, взяты 5 опытных значений величин хлыста (таблица 1 и рисунки 3,4- масштаб осей соответствует данным таблицы 1).

Таблица 1.

Опытные значения для расчета  $h_0$  от  $G$  и  $L$ .

$G(\text{кН})$	$h_0$	$L(\text{м})$	$h_0$
2.025	4.634	26	4.864
2.125	4.723	27	4.792
2.225	4.810	28	4.723

2.325	4.895	29	4.658
2.425	4.965	30	4.596

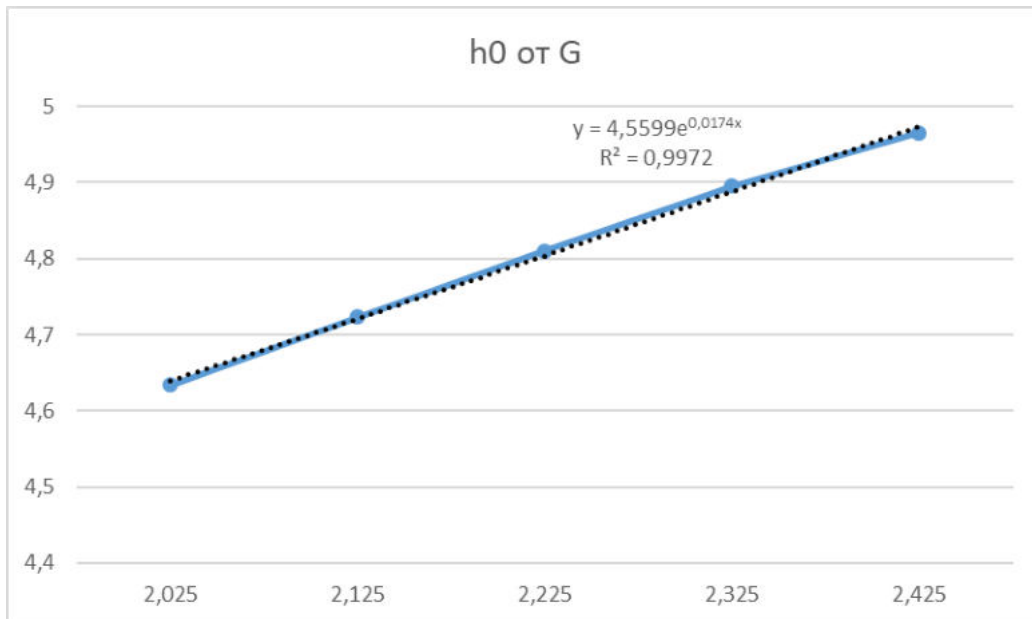


Рисунок 3. Зависимость  $h_0$  от  $G$

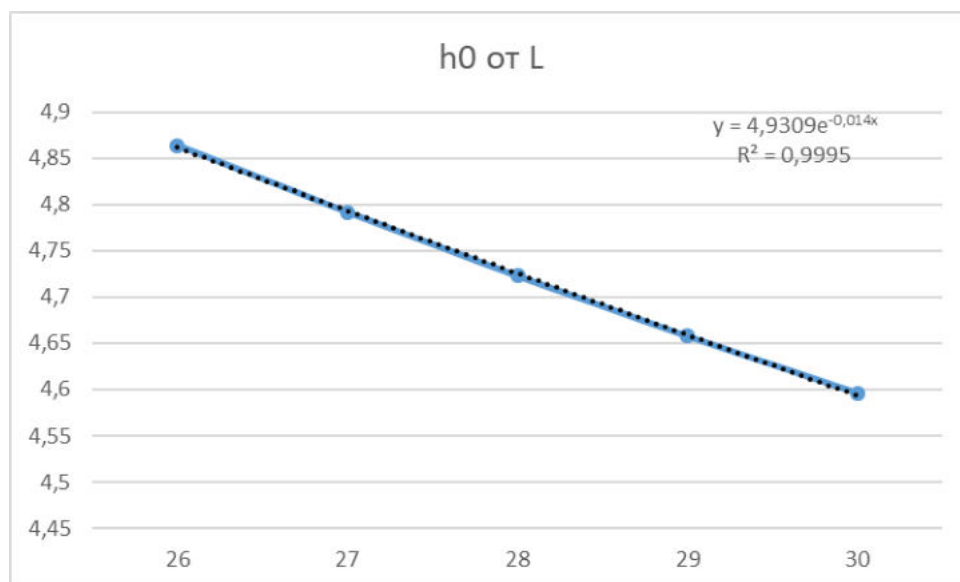


Рисунок 4. Зависимость  $h_0$  от  $L$

Анализ данных рисунков 3 и 4 показывает, что с ростом  $G$  величина  $h_0$  увеличивается на 4% в соответствии с линейным законом, а при увеличении  $L$  зона осадки уменьшается на 2%. Можно на этом основании сделать вывод о том, что

оптимально придерживаться средних значений величины хлыста в диапазоне от  $G=2,125$  кН,  $L=27$ м до  $G=2,325$ кН,  $L=29$ м.

Очевидно, что параметры  $G$  и  $L$  не являются постоянными и носят случайный характер. В этом случае необходимо применять вероятностные методы оценки глубины зоны осадки в соответствии с принципами переходных состояний в рамках теории цепей Маркова, развитых в различных приложениях [5,6].

Таким образом, предложенная математическая модель позволяет произвести прогноз показателей воздействия пачки хлыстов на почвогрунт в процессе их трелевки.

#### **Список литературы**

1. Агейкин А. С. Вездеходные колесные и комбинированные движители. М.: Машиностроение.- 1972.- 183 с.
2. Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Лепилин Д.В., Жукова А.И. Моделирование уплотнение почвогрунта в боковых полосах трелевочного волока с учетом изменчивости трассы движения. Ученые записки Петрозаводского государственного университета. – 2010. – №6 (111).- С. 61-64.
3. Газизов А.М., Шапиро В.Я., Григорьев И.В. Влияние влажности на развитие процесса разрушения коры при роторной окорке. Вестник Московского государственного университета леса- Лесной вестник.2008.№6.С.129-133.
4. Куницкая О.А., Шапиро В.Я., Бурмистрова С.С., Григорьев И.В. Определение оптимальных параметров процесса прессования и обезвоживания пропитанных древесных материалов. Вестник Московского государственного университета леса- Лесной вестник.2012.№4.С.110-115.
5. Шапиро В.Я., Шапиро Н.А. Использование цепей Маркова для прогноза эффективности ПИФов // В сборнике: Экономическое развитие: теория и практика. Материалы Международной научной конференции. Председатель ред.совета Бойко И.П. - 2007. - С.79-81.
6. Шапиро В.Я., Шапиро Н.А. Моделирование портфельных инвестиций в условиях негативных сценариев развития фондового рынка //Финансы и кредит. -2008. - №15(303). -С.39-51.

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АВИАСТРОЕНИИ**

**Гончаренко Р. С.**

**Научный руководитель: Подклетнова С. В.**

***Самарский национальный исследовательский университет  
имени С. П. Королева, Самара***

*Аннотация. Статья посвящена использованию математического моделирования и оптимизации технологических процессов механической обработки детали в авиастроении. Выделены разделы математического моделирования, применяемые на разных этапах. Проведен анализ разделов, используемых для оптимизации технологических процессов, составлена общая таблица. Определены наиболее распространенные критерии. Сформирован граф допустимых вариантов*

*оптимизации технологических процессов. Наиболее удобным методом определен метод структурного проектирования.*

**Ключевые слова:** *математическая модель технологического процесса.*

Развитие современной промышленности невозможно без математического моделирования. Объекты исследования – авиастроительные предприятия. Изготовление продукции на таких предприятиях характеризуется обширной номенклатурой, это связано с выпуском изделий маленькими партиями. Для авиастроительного производства, занимающегося изготовлением составляющих уникальных механизмов, характерна регулярная смена выпускаемых изделий.

Часто производится переналадка оборудования и оснастки, связанная с широкой номенклатурой изделий, уменьшение партий продукции. Эти факторы приводят к увеличению потери времени. Следовательно, увеличивается срок изготовления деталей, понижается эффективность производства, увеличивается стоимость изделия [1]. Чтобы решить эти проблемы в современной промышленности применяют метод математического моделирования.

Все процессы можно описать с помощью математических моделей. Они помогают понять взаимосвязь причин и следствий, быстро сделать выводы и принять требуемое решение. Основой данной работы являются исследования отечественных и зарубежных ученых: А.В.Тихомирова, Б.А.Беликова, В.С.Никитина, С.В.Илюшина, Ю.С.Сысоева, Г.А.Киселева.

Объект исследования – технологический процесс изготовления деталей в цехах авиастроительных предприятий. Предметом исследования являются методы, модели математического моделирования и оптимизация процесса изготовления деталей на авиастроительных предприятиях.

Оптимизация параметров технологического процесса и применение математического моделирования является актуальной задачей с практической и научной точки зрения.

Технологический процесс (далее ТП) можно представить как структуру, состоящую из связанных между собой уровней.

Анализируя современные направления применения математического моделирования в ТП, был выбран оптимальный математический аппарат.

Например, методы аналитической геометрии используют для повышения точности геометрических форм изделия при механической обработке резанием, а для выбора оптимальных размерных структур технологии механической обработки используют методы линейного программирования.

В таблице 1 приведены разделы, которые используются для оптимизации элементов ТП.

Таблица 1. Применение математического моделирования

Разделы математического моделирования	Элементы структуры ТП							
	Переходы	Установы		Операции		Варианты ТП		
		Базирование	Позиция	Режимы	Время	Станок	Приспособление	Инструменты
Теория множеств	+					+		
Теория графов	+	+	+	+				
Теория оптимизации	+	+		+		+	+	+
Общая теория статистики				+	+	+	+	
Теория функций					+			+
Аналитическая геометрия		+	+					+
Математический анализ					+		+	+
Теория игр						+	+	+

Из приведенной выше таблицы можно сделать вывод, что чаще всего применяют теорию оптимизации, теорию граф, общую теорию статистики.

Также нужно обозначить, что математическая модель ТП и его элементов – это система математических объектов и их соотношений, описывающих с нужной точностью изучаемый объект и его поведение в действительных производственных условиях.

Одна и та же деталь, изготовленная с использованием разных вариантов ТП (различное оборудование, инструмент, режим резания и т.д.), имеет отличающиеся выходные показатели (производительность, себестоимость и т.д.) [2].

Чаще всего в производстве выбирают оптимальный ТП. ТП называют оптимальным, если выполняется система ограничений, отражающих условия протекания технологического процесса и требования, предъявляемые к нему и детали, экстремум целевой функции (ТП, который оптимален для одной функции, может быть не оптимальным для другой).

При постановке задачи проектирования оптимального ТП выбирается критерий оптимальности. Существует ряд различных критериев оптимальности, применяемый для решения технологических задач.

Следующие критерии наиболее распространены:

1. Штучное время  $T_{шт}$  (целевая функция  $T_{шт} \rightarrow \min$ );
2. Производительность  $Q$  (целевая функция  $Q \rightarrow \max$ );
3. Себестоимость изделия  $C$  (целевая функция  $C \rightarrow \min$ ).

Для постановки задачи оптимизации ТП формируют математическую модель процесса обработки детали, состоящую из:

1. Критерия оптимальности ТП;
2. Целевой функции;
3. Системы ограничений;
4. Входных, выходных и внутренних параметров.

Следующий этап – это определение метода решения задачи оптимизации.

Существует три вида оптимизации ТП:

1. Структурный;
2. Параметрический;
3. Структурно-параметрический;

Структурная оптимизация – это определение оптимальной структуры ТП. Параметрическая заключается в расчете оптимальных припусков, межпереходных размеров. Структурно-параметрическая оптимизация – это комбинация представленных выше видов.

Структурная оптимизация позволяет рассмотреть поочередно задачи ТП, а, значит, процесс проектирования делится на взаимосвязанные уровни. Результатом проектирования является граф допустимых вариантов ТП [3].



Рис. 1. Граф допустимых вариантов оптимизации ТП

В условиях производства все технологические операции обработки определяются конструктивными, технологическими, экономическими и эксплуатационными качествами.

Использование математического моделирования и методов оптимизации технологических процессов помогает обеспечить информационную поддержку при выборе множества вариантов наиболее оптимальных структурных элементов ТП.

#### Список литературы.

1. Базров, Б.М. основы технологии машиностроения / Б.М.Базров. – М: Машиностроение. 2007. – 736с.
2. Абрамян, В. (2019). Повышение технологичности выпускаемой продукции как ключевое направление снижения уровня затрат и роста эффективности машиностроительного производства
3. Рыжков В.А., Паринов М.В., Юров А.Н., Чижов М.И. формализация задачи проектирования с целью оптимизации сборочных технологических процессов процессов. Вестник Воронежского государственного технического университета. 2012. Т. 8. №12-2. С 25-27

## ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА ПЕРЕУВЛАЖНЕНИЯ ОТТАЯВШЕГО ГРУНТА НА ЕГО СПОСОБНОСТЬ СОПРОТИВЛЯТЬСЯ СТАТИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ

Ларионов Е.Е, Петряев Д.А, Ушаков М.С, Пьянусов А.И.

Научный руководитель: Шапиро В.Я.

*Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург*

*Аннотация:* Статья посвящена анализу взаимодействия трелевочной системы с мерзлым и оттаявшим грунтом в условиях криолитозоны. В ней подробно разбираются особо важные процессы, происходящие в грунте на границе оттаивания, напрямую влияющие на основные параметры проходимости транспортных средств в зонах многолетнемерзлых пород. В статье приведены анализы зависимости несущей способности почвогрунтов от факторов температуры и влажности.

*Ключевые слова:* математическая модель, мерзлый почвогрунт, граница оттаивания, колесный форвардер, гусеничный транспорт.

Заготовка древесины в лесах зоны многолетнемерзлых пород становится все более актуальной для Российской Федерации в связи с истощением доступных запасов спелых эксплуатационных лесов в «традиционных» лесных регионах нашей страны: южной и центральной Сибири, Бурятии, Хабаровском крае.

Проведение лесозаготовительных работ в районах криолитозоны характеризуется крайне сложными климатическими условиями. Особые трудности вызывает эксплуатация лесных машин, в частности колесных Форвардеров, при производстве лесосечных работ на мерзлых и оттаивающих почвогрунтах, поскольку в подобных условиях они характеризуются высокой изменчивостью своих физико-механических свойств.

Одной из основных причин такого положения является существенная зависимость несущей способности почвогрунта от факторов температуры и влажности, подробно изученные в работе [1]. Под статической нагрузкой, обусловленной действием трелевочной системы, происходит переуплотнение грунта как в границах трелевочного волока, так и за ее пределами. Это значительно ухудшает условия формирования корневой системы подроста в боковых полосах трелевочного волока [2].

Фактор влажности  $W(\%)$  является определяющим и при оценке процессов окорки балансов [3] и создания модифицированных материалов с заранее заданными свойствами [4].

Остановимся подробно на анализе влияния показателя  $W$  на несущую способность грунта  $\tau$  (кПа) при заданном давлении  $q_0$  трелевочной системы на грунт (кПа):

$$\tau = (2,2q_0 + 30,64)e^{-0,075W} . \quad (1)$$

Как видим соотношение (1) представляет собой двумерную функцию  $\tau = \tau(W, q_0)$ , график которой в пространстве задан поверхностью.

При фиксированном значении величины  $q_0$ , диапазон изменения которой для колесных форвардеров составляет 27-84 кПа, функцию  $\tau=\tau(W, q_0)$  можно рассматривать как функцию одной переменной  $W$ .

На рисунке 1 представлен этот график при изменении влажности от 20 до 40% при фиксированном давлении 27 кПа.

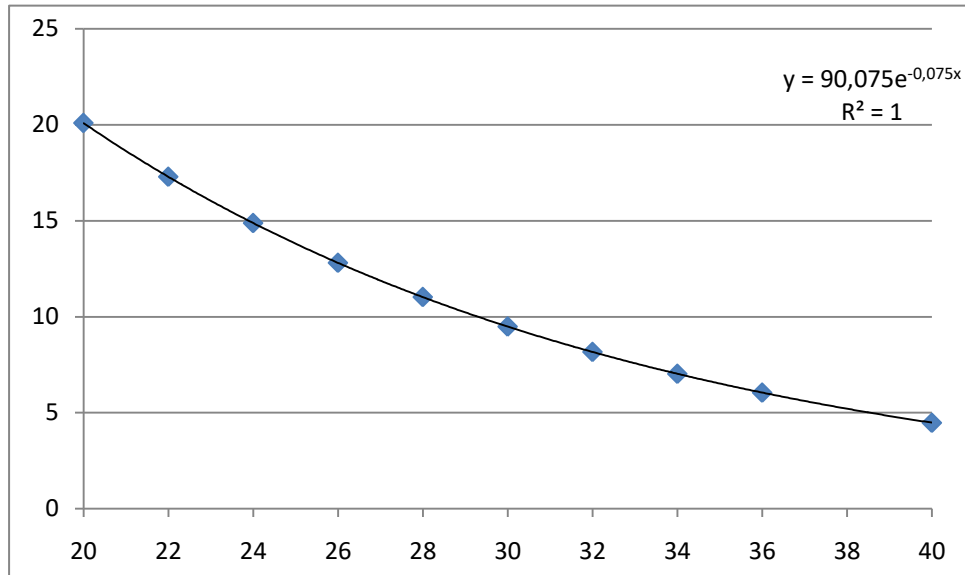


Рисунок 1. Снижение несущей способности грунта (ось ординат, кПа) с ростом показателя влажности (ось абсцисс, %)

Интегрирование функции  $\tau=\tau(W, q_0)$  при фиксированном параметре  $q_0$  в заданных пределах изменения влажности от  $W_1$  до  $W_2$  можно считать оценкой интегральной способности грунта  $\tau_W$  выдерживать статические нагрузки с учетом вариации показателя влажности.

Вариационные модели подробно рассмотрены в рамках переходных состояний при формировании цепей Маркова [5].

Таким образом, сформируем интеграл:

$$\tau_W = \int_{W_1}^{W_2} (2,2q_0 + 30,64)e^{-0,075W} dW . \quad (2)$$

Интегрирование (2) для условий, отраженных на рисунке 1, приводит к оценке:

$$\tau_W = 90,075 \int_{20}^{40} e^{-0,075W} dW = 208,18 \text{кПа}. \quad (3)$$

Можно сделать вывод о том, что с ростом давления трелевочной системы по линейному закону должна возрасти интегральная величина несущей способности грунта. В то же время, рост диапазона изменения показателя влажности влияет на величину  $\tau_W$  по иному закону.

На рисунке 2 представлен график зависимости функции  $\tau_W$  (ось ординат, кПа) от диапазона (верхней границы) показателя влажности  $W$  (ось абсцисс, %), который свидетельствует о параболической их связи.



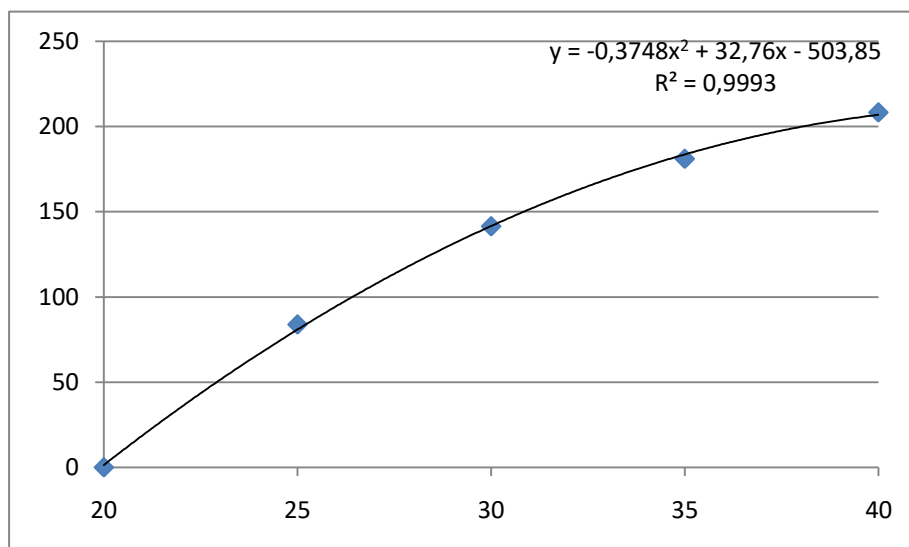


Рисунок 2. Влияние диапазона изменения влажности на интегральную несущую способность грунта

Анализ данных рисунка 2 показывает, что при изменении диапазона влажности на 10% абсолютных значений с 20 до 30% увеличивает показатель  $\tau_w$  с единичных значений до 141,39 кПа, т.е. более, чем на два порядка. Следующий аналогичный прирост диапазона изменения  $W$  на 10% с 30 до 40% обуславливает увеличение показателя  $\tau_w$  с 141,39 до 218,18кПа, т.е. всего на 54%.

Асимптотический характер поведения графика функции на рисунке 2 свидетельствует о том, что наиболее существенное влияние влажность оказывает при переходе грунта из сухого состояния ( $W = 20\%$ ) во влажное ( $W = 30\%$ ). Дальнейшее увеличение влажности оказывает ограниченное влияние на показатель интегральной характеристики сопротивления грунта статической нагрузке.

Таким образом, чем шире диапазон изменения влажности грунтов, слагающих трелевочный волок вдоль трассы движения трелевочной системы, тем большую несущую способность грунта необходимо закладывать в расчетные характеристики его взаимодействия.

### Список литературы

1. Рудов С.Е., Шапиро В.Я., Григорьев, И.В., Куницкая О.А., Григорьева О.И. Особенности взаимодействия трелевочной системы с оттаивающим почвогрунтом.// Лесной вестник.Forestry Bulletin/-2019.-Т.23.-№1.-С.-52-61.
2. Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Лепилин Д.В., Жукова А.И. Моделирование уплотнение почвогрунта в боковых полосах трелевочного волок с учетом изменчивости трассы движения// Ученые записки Петрозаводского государственного университета. – 2010. – №6 (111).- С. 61-64.
3. Газизов А.М., Шапиро В.Я., Григорьев И.В. Влияние влажности на развитие процесса разрушения коры при роторной окорке //Вестник Московского государственного университета леса- Лесной вестник.-2008.-№6.- С.129-133.
4. Куницкая О.А., Шапиро В.Я., Бурмистрова С.С., Григорьев И.В. Определение оптимальных параметров процесса прессования и обезвоживания пропитанных древесных материалов// Вестник Московского государственного университета леса-

Лесной вестник.- 2012.- №4.- С.110-115.

5. Шапиро В.Я., Шапиро Н.А. Моделирование портфельных инвестиций в условиях негативных сценариев развития фондового рынка //Финансы и кредит. -2008. - №15(303). -С.39-51.

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРТЕРНОГО ЦВЕТНИКА**

**Подлужная А. А. Лосева В. Д. Колодий А. А.**

**Научный руководитель: Алексеева С. В.**

***Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
им. С. М. Кирова, Санкт-Петербург***

***Аннотация.** Ландшафтный дизайн очень актуален и востребован на рынке в наше время. Он создает выразительную, экологически здоровую окружающую среду. Одним из его элементов является цветочный партер. Создание партерного цветника служит для эстетизации городской и загородной среды. В работе выполнено математическое моделирование цветочного партера, с учётом подбора высаживаемых растений и произведен расчет его стоимости.*

***Ключевые слова:** партер, цветочный партер, математическая модель, график функции, декартова прямоугольная система координат.*

Партер представляет собой композицию в регулярном стиле, чаще всего имеет прямоугольную форму и размещается в парадной части озеленяемого объекта на плоской местности. Партерный цветник - сложный цветник, в котором растения высажены в виде узора или орнамента.

Математическая модель - приближенное описание объекта моделирования, выраженное с помощью математических символов.

Помимо использования в работе математических моделей, также было использовано 3D моделирование (с использованием X,Y и Z координат). 3D моделирование нужно для того, чтобы визуализировать ситуацию на плане в реальности, представить, как это будет выглядеть, выявить недостатки и достоинства.

Масштаб для выполнения работы взят 1:100. Партер имеет размер сторон в натуре 6×10 м.

В качестве объекта математического моделирования был создан рисунок и эскиз партерного цветника с помощью графиков функций (Рис. 1).

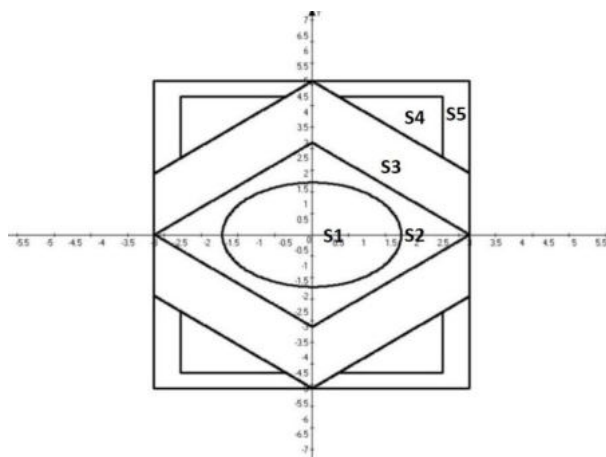


Рисунок 1. Рисунок партерного цветника с обозначением площадей

Полученный эскиз был описан математически, с использованием графиков функций. Для того чтобы выполнить экономический расчет партера были найдены площади областей в партере, отводимые под различный посадочный материал. В результате вычислений были получены следующие числовые значения площадей:  $S_1 = 7,07 \text{ м}^2$ ,  $S_2 = 10,93 \text{ м}^2$ ,  $S_3 = 24 \text{ м}^2$ ,  $S_4 = 8 \text{ см}^2$ ,  $S_5 = 10 \text{ м}^2$ . На указанных площадях планируется высадить: Циннию узколистую желтую, Вербену гибридную Снежная королева Тагетес тонколиственный Красный самоцвет, Алиссум морской, Бальзамин Уоллера Сифони, соответственно.

Общая площадь партера составляет:

$$S = S_1 + S_2 + S_3 + S_4 + S_5 = 60 \text{ м}^2$$

Составим посадочную ведомость (Таблица 1) по вычисленным площадям и рассчитанным посадочным материалом.

1. Алиссум морской Тайни Тим, *Alyssum maritimum Taini Tim*.

Занимает площадь в партерном цветнике  $8 \text{ м}^2$ . Каждое растение высаживается на расстоянии 15 см друг от друга, стоимость закупочного материала составляет 30 рублей за штуку. В результате получаем, что для озеленения указанной площади потребуется 392 штуки общей стоимостью 11760 рублей.

2. Бальзамин Уоллера Сифони, *Impatiens walleriana Sifoni*.

Занимает площадь в партерном цветнике  $10 \text{ м}^2$ . Растения необходимо высадить на расстоянии 20 см друг от друга, стоимость закупочного материала составляет 25 рублей за штуку. Потребуется 250 штук общей стоимостью 6250 руб.

3. Тагетес тонколиственный Красный самоцвет, *Tagetes tenuifolia Red gem*.

Занимает площадь в партерном цветнике  $24 \text{ м}^2$ . Расстояния между соседними растениями должно составлять 10 см друг от друга, стоимость одного растения составляет 15 рублей. Для высадки нам потребуется 2400 штук, стоимостью 36000 руб.

4. Вербена гибридная Снежная королева, *Verbena Hybriden Nix Reginae*.

Занимает площадь в партерном цветнике  $10,93 \text{ м}^2$ . Необходимо высадить 274 растения на расстоянии 20 см друг от друга, при цене 25 рублей за штуку стоимость данного посадочного материала составит 6850 руб.

5. Цинния узколистая желтая, *Zinnia angustifolia*.

Занимает площадь в партерном цветнике  $7,07 \text{ м}^2$ . При соблюдении необходимого расстояния в 10 см между соседними растениями потребуется 707 штук, стоимость которых составит, при цене в 20 руб. за единицу, 14140 руб.

Таким образом, общая стоимость посадочного материала в партерный цветник составит:

$$11760+6520+36000+6850+14140 = 75270 \text{ рублей.}$$

Для визуализации полученного партера было проведено 3D моделирование с целью выявления недостатков и возможной дальнейшей корректировки. (Рис.2, 3, 3.1).

Таблица 1. Посадочная ведомость

№ п/п	Наименование растений	S кустарников $\text{м}^2$	Цветы шт.	Примечание
1	Алиссум морской Тайни Тим, <i>Alyssum maritimum</i> Taini Tim	8	392	Групповая
2	Бальзамин Уоллера Сифони, <i>Impatiens walleriana</i> Sifoni	10	250	Групповая
3	Тагетес тонколистный Красный самоцвет, <i>Tagetes tenuifolia</i> Red gem	24	2400	Групповая
4	Вербена гибридная Снежная королева, <i>Verbena Hybriden</i> Nix Reginae	10,93	274	Групповая
5	Цинния узколистная желтая, <i>Zinnia angustifolia</i>	7,07	707	Групповая

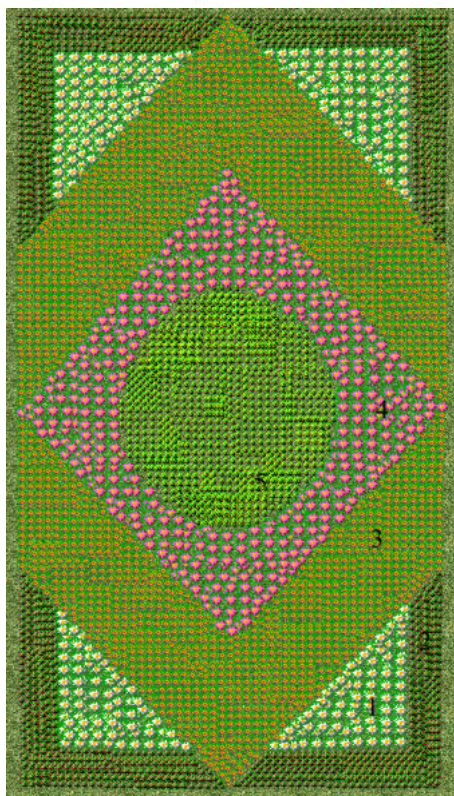


Рисунок 2. План партерного цветника в 3D

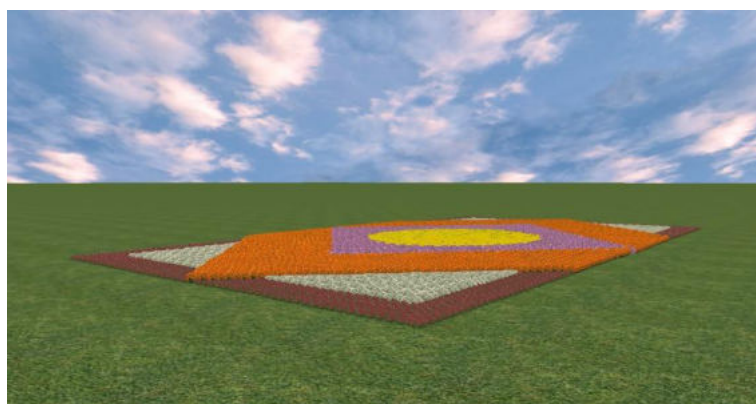


Рисунок 3.1. 3D визуализация партерного цветника

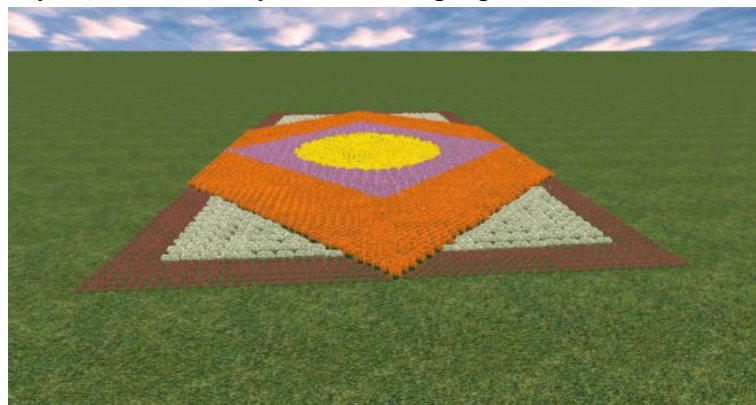


Рисунок 3.2. 3D визуализация партерного цветника

Таким образом, на основе заданного проекта партерного цветника с помощью построенной математической модели был проведен экономический расчет и выполнена 3D визуализация полученного партера.

### Список литературы

1. Кичунов Н. И. Цветники и партеры / Н. И. Кичунов А.– С. Петербург: Издательство А. Ф. Давриена, 1904 – 192 с.
2. Графики функций: учебно-методическое пособие / Т. П. Кисилева, И. И. Олюнина. – Нижний Новгород: Издательство ННГУ, 2015. -43 с.
3. Зубова И. К., Острая О. В., Анциферова Л. М., Рассохина Е. Н. Основы математического анализа (модуль «Определенный интеграл и несобственные интегралы»): учебное пособие / И. К. Зубова О. В. Острая, Л. М. Анциферова, Е. Н. Рассохина; Оренбургский гос. ун-т – Оренбург: ОГУ, 2017 – 129 с.

## ОЦЕНКА РАЗМЕРОВ ОХРАННОЙ ЗОНЫ ПОЧВОГРУНТА ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ ПОДРОСТА

Сидорова В.С.

Научный руководитель: Шапиро В.Я.

*Санкт-Петербургский Государственный Лесотехнический университет  
имени С.М. Кирова.*

*Аннотация:* В данной статье рассмотрена актуальная проблема увеличения эффективности систем лесных машин и технологических процессов, применяемых при заготовке древесины и лесовосстановлении. Рассмотрено действие на грунт сосредоточенной силы в цилиндрической системе координат.

*Ключевые слова:* почвогрунт, корневая система подроста, сдвиговые напряжения, несущая способность почвогрунта, лесовосстановление, трелевочная система, размер охранной зоны.

В настоящее время все больший интерес ученых и практиков лесозаготовительного производства связан с проблемой увеличения эффективности систем машин и технологических процессов, применяемых при заготовке древесины и лесовосстановлении, которая характеризуется большим количеством показателей, среди которых особое место занимает экологическая рентабельность.

Лесной массив, являясь самой высокопродуктивной экосистемой на планете, при производстве биомассы максимально исчерпывает ресурсы почвы. В результате толщина почвенного покрова в лесу обычно не превышает 6-7 см, при этом высота грунтозацепа колесного лесопромышленного трактора достигает 13 см. Поэтому движитель лесной машины, продавливая слой лесной почвы, воздействует одновременно на почву и на подстилающий грунт.

Почвогрунт представляет собой сложную многофазную дисперсную систему, макроскопическое поведение которой под действием нагрузок определяется протеканием многих параллельно идущих процессов различной механической природы. Особенностью грунтов является сопротивление растяжению и сжатию с



нелинейной зависимостью между деформациями и напряжениями при нагрузках и разгрузках.

В процессе трелевки точно выдержать заданное направление движения трелевочной системы (ТС) невозможно и трактор вынужден постоянно осуществлять повороты. В этом случае грунт, находясь в объемном напряженно-деформированном состоянии, испытывает действие дополнительных касательных напряжений в направлении, перпендикулярном действию нормальной нагрузки. При повороте трактора наиболее изменчивым параметром является угол поворота  $\theta$  и его вариация обусловит соответствующее изменение величин уплотнения почвогрунта и предельных размеров охранных зон.

Процесс деформирования происходит в пространственной декартовой системе координат  $OXYZ$ , оси которой принимаются главными, а на элементарных площадках массива действуют соответствующие главные напряжения  $\sigma_1=\sigma_z, \sigma_2=\sigma_y, \sigma_3=\sigma_x$ , тогда как касательных напряжений нет.

Результатом деформации грунта по траектории действия горизонтальной силы является возникновение горизонтальной нагрузки  $\tau_c$ , описывающей величину удельного сопротивления грунту срезу. В момент маневра трактора и отклонения ТС от заданного направления движения на угол  $\theta$ , деформирование грунта целесообразно рассмотреть в цилиндрической системе координат  $zr\theta$ .

При  $\theta=0$  компоненты тензора напряжений являются главными, т.е. имеем:  $\sigma_z=\sigma_1, \sigma_r=\sigma_2, \sigma_\theta=\sigma_3, \tau_{r\theta}=0$ . Горизонтальные напряжения  $\tau_c$  связаны с вертикальными  $\sigma_z$  обобщенным законом Кулона. Результирующая величина  $\tau = \tau_c + \tau_{r\theta}$  будет характеризовать суммарные сдвиговые напряжения, и в роли меры разрушения можно принять условие превышения величиной  $\tau$  предела несущей способности почвогрунта  $q_s$ .

Рассмотрим в рамках математических моделей [1,3,5] действие на грунт сосредоточенной силы  $Q=G+Q_1$ , где  $G$  – вес трактора, 140 кН,  $Q_1$  – вес пачки, размещенной на тракторе, 60 кН.

Начальная плотность естественного сложения почвогрунта принимается равной  $\rho_0 = 800-900$  кг/м<sup>3</sup>; модуль Юнга  $E = 1$  МПа; величина внутреннего сцепления  $C = 12$  кПа; угол внутреннего трения  $\varphi = 15^\circ$ ; несущая способность  $q_s = 30$  кПа при 25% влажности; коэффициент Пуассона  $\nu = 0,25$ ; удаление от твердого основания  $H = 0,4$  м. Расчеты позволили получить следующие результаты (таблицы 1-3), проиллюстрированные рисунком 1 с графиком зависимости  $\tau_{r\theta}(\theta)$ .

Таблица 1. Результаты расчетов при  $z=0, r=0,5; \sigma_z=0$  кПа,  $\sigma_r=63,68$  кПа,  $\sigma_\theta=-63,68$  кПа.

$\theta$ , град.	$\sigma_2$ , кПа	$\sigma_3$ , кПа	$\tau_{r\theta}$ , кПа	$\tau_c$ , кПа	$\tau$ и $q_s$ , кПа	Вывод
0°	63,68	-63,68	0	12	12 < 30	Разрушение не наблюдается
10°	67,75	-67,75	-23,04	-11,04	$ -11,04  < 30$	Разрушение не наблюдается
25°	99,5	-99,5	-76,62	-64,62	$ -64,62  > 30$	Происходит разрушение

Таблица 2. Результаты расчетов при  $z=0$ ,  $r=1$ :  $\sigma_z=0$  кПа,  $\sigma_r=15,92$  кПа,  $\sigma_\theta=-15,92$  кПа.

$\theta$ , град.	$\sigma_2$ , кПа	$\sigma_3$ , кПа	$\tau_{r\theta}$ , кПа	$\tau$ , кПа	$\tau$ и $q_s$ , кПа	Вывод
0°	15,92	-15,92	0	12	$ 12  < 30$	Разрушение не наблюдается
10°	16,94	-16,94	-5,76	6,24	$ 6,24  < 30$	Разрушение не наблюдается
25°	24,88	-24,88	-19,16	-7,16	$ -7,16  > 30$	Разрушение не наблюдается

Таблица 3. Результаты расчетов При  $z=0$ ,  $r=1,5$ :  $\sigma_z=0$  кПа,  $\sigma_r=7,08$  кПа,  $\sigma_\theta=-7,08$  кПа.

$\theta$ , град.	$\sigma_2$ , кПа	$\sigma_3$ , кПа	$\tau_{r\theta}$ , кПа	$\tau$ , кПа	$\tau$ и $q_s$ , кПа	Вывод
0°	7,08	-7,08	0	12	$ 12  < 30$	Разрушение не наблюдается
10°	7,53	-7,53	-2,56	9,44	$ 9,44  < 30$	Разрушение не наблюдается
25°	11,06	-11,06	-8,52	3,48	$ 3,48  > 30$	Разрушение не наблюдается

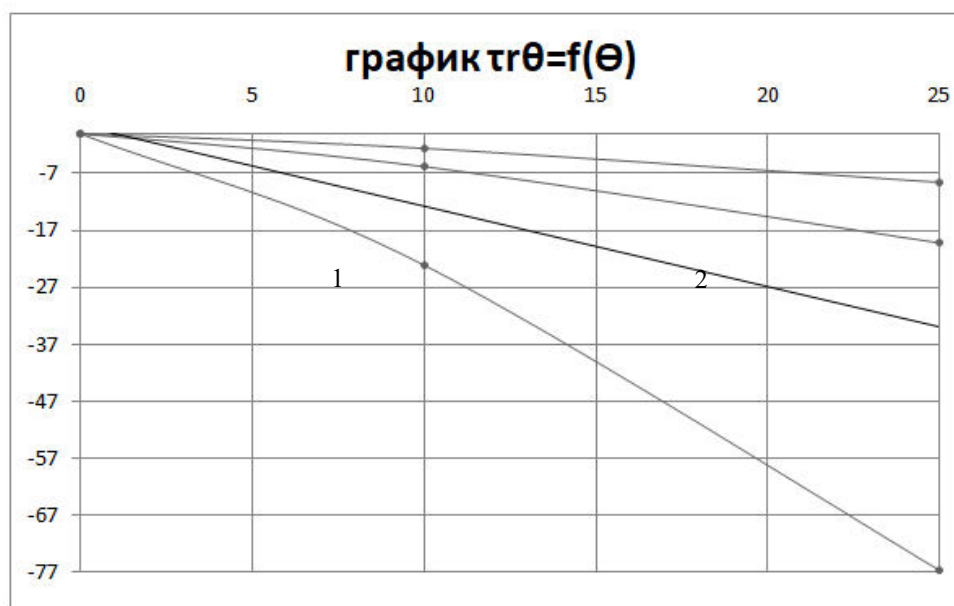


Рисунок 1. График зависимости касательных напряжений от угла поворота ТС:

1- при  $r=0,5$ ; 2- при  $r=1,0$ ; при  $r=1,5$ ;

Анализ данных рисунка 1 показывает, что касательные напряжения растут по мере увеличивается угла поворота ТС. Таким образом, результаты математического моделирования демонстрируют, что величина углового параметра  $\theta$  выражает существенное влияние на процесс циклического уплотнения грунта. Этот параметр нужно принимать во внимание в прогнозных оценках размеров зон охранных полос, уменьшающих вредное воздействие ТС на корневую систему подроста.

Исследуем следующую схему давления на почвогрунт сосредоточенной силы  $Q=P+G$ , где  $Q$  – сила тяжести хлыста,  $P=0,3Q=18$  кПа – сила тяжести хлыста,



действующая на трактор,  $G=0,7Q=42$  кПа – сила тяжести хлыста, действующая на почвогрунт при трелевке его за вершину, в итоге чего часть хлыста может погружаться в почвогрунт на определенную величину первичной зоны осадки  $h_0$ .

В пределах этой модели основными параметрами процесса погружения индентора в среду являются величины контактного сближения  $h_0$  и радиуса контактной площадки  $a$  на которой действует усредненное по площади начальное равномерное давление  $q_0=G/(\pi a^2)$ .

Оценим начальные параметры контакта при следующих исходных данных нагружения почвогрунта.

Трелевка одиночного хлыста осуществляется при следующих исходных данных:  $L=31$  м;  $d=0,24$  м;  $V_x=0,65$  м<sup>3</sup>;  $h_k=1,8$  м;  $l=1,525$  м;  $\beta=1,1$ . В соответствии с методическими положениями для таких условий нагружения установлены значения коэффициентов  $A=0,0564$  м.е. и  $n=1,0206$ . Приняты следующие параметры контакта:  $h_0=0,115$  м;  $a=0,189$  м;  $R=0,53$  м;  $q_0=55,65$  кПа.

Предельную глубину зоны осадки можно определить в виде:

$$h_s = h_0 \left( \frac{q_s}{\lambda} \right)^{1/n}, \quad (1)$$

где коэффициенты и являются функциями угла и равны:

$$\lambda = 0,7605\theta, \quad \eta = -(0,0179\theta + 0,241).$$

Предельное радиальное расстояние  $r_s$ , при котором величина  $q_r$  превысит величину несущей способности почвогрунта  $q_s$ , можно трактовать как размер максимальной зоны уплотнения в радиальном направлении от колеи или как размер (ширину) охранной полосы корневой системы подроста или оставляемых на корню деревьев. Таким образом, с учетом (1), получим:

$$r_s = a \sqrt{1 / (1 - (q_s / q_r)^2)}. \quad (2)$$

Сводим вычисления по формуле (2) в таблицу 4.

Таблица 4. Предельная глубина зоны осадки грунта.

$\theta$ , град.	$\lambda$	$\eta$	$a$ , м	$h_s$ , м
0°	23,913	-0,241	0,099	0,018
10°	31,518	-0,420	0,167	0,053
25°	42,926	-0,689	0,205	0,079

Радиальное давление  $q_r$  вдоль радиуса  $r \geq a$ , отсчитываемого от границы контактной площадки, представляется уравнением эллипса.

Таким образом, на границе площадки при  $r=a$  величина  $q_r=0$  и с ростом относительного расстояния  $r/a$  будет возрастать.

В таблице 5 приведены данные по величине радиального давления, которые также графически отражены на рисунке 2 с учетом угла поворота ТС.

Таблица 5. Значение радиального давления  $q_r$ , кПа

	При $\theta=0^\circ$ , $a=0,099$ м (кПа)	При $\theta=10^\circ$ , $a=0,167$ м (кПа)	При $\theta=25^\circ$ , $a=0,205$ м (кПа)
$r=0,5$	54,54	52,45	50,76
$r=1,0$	55,38	54,87	54,47

$r=1,5$	55,53	55,30	55,13
---------	-------	-------	-------

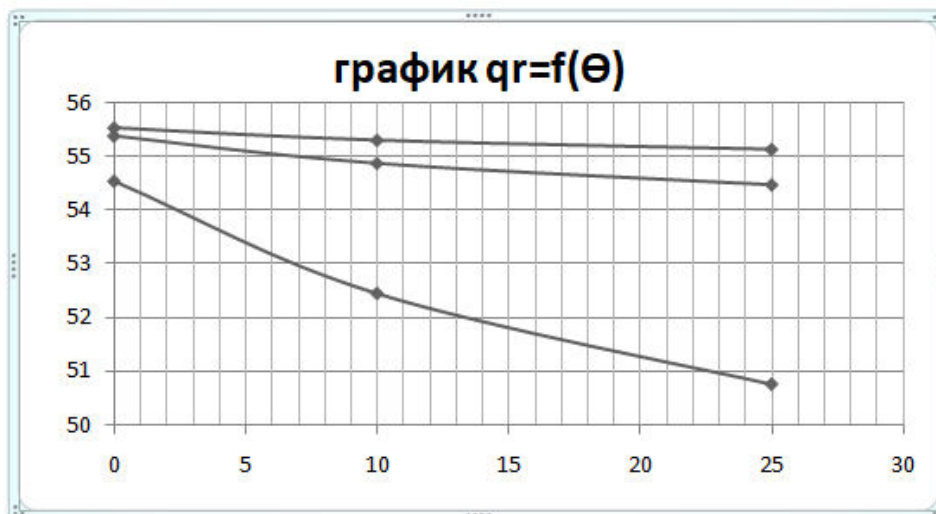


Рисунок 2. График зависимости радиального давления от поворота угла ТС:  
1-при  $r=0,5$  м; 2- при  $r=1,0$  м; 3- при  $r=1,5$  м;

Определяем предельно расстояние  $r_s$  и сводим все полученные данные в таблицы 6-8.

Таблица 6. Охранная зона при  $r=0,5$  м

	$r_s$ при $\theta=0^\circ$ , $a=0,099$ м , $q_r=54,54$ кПа	$r_s$ при $\theta=10^\circ$ , $a=0,167$ м, $q_r=52,45$ кПа	$r_s$ при $\theta=25^\circ$ , $a=0,205$ м, $q_r=50,76$ кПа
$r=0,5$ м	0,119 м	0,204 м	0,254 м

Таблица 7.Охранная зона при  $r=1,0$  м

	$r_s$ при $\theta=0^\circ$ , $a=0,099$ м , $q_r=55,38$ кПа	$r_s$ при $\theta=10^\circ$ , $a=0,167$ м, $q_r=54,87$ кПа	$r_s$ при $\theta=25^\circ$ , $a=0,205$ м, $q_r=54,47$ кПа
$r=1,0$ м	0,118 м	0,199 м	0,254 м

Таблица 8. Охранная зона при  $r=0,5$  м

	$r_s$ при $\theta=0^\circ$ , $a=0,099$ м , $q_r=55,53$ кПа	$r_s$ при $\theta=10^\circ$ , $a=0,167$ м, $q_r=55,30$ кПа	$r_s$ при $\theta=25^\circ$ , $a=0,205$ м, $q_r=55,13$ кПа
$r=0,5$ м	0,117 м	0,198 м	0,244 м

Окончательно строим график (рисунок 3) зависимости  $r_s=f(\theta)$ :

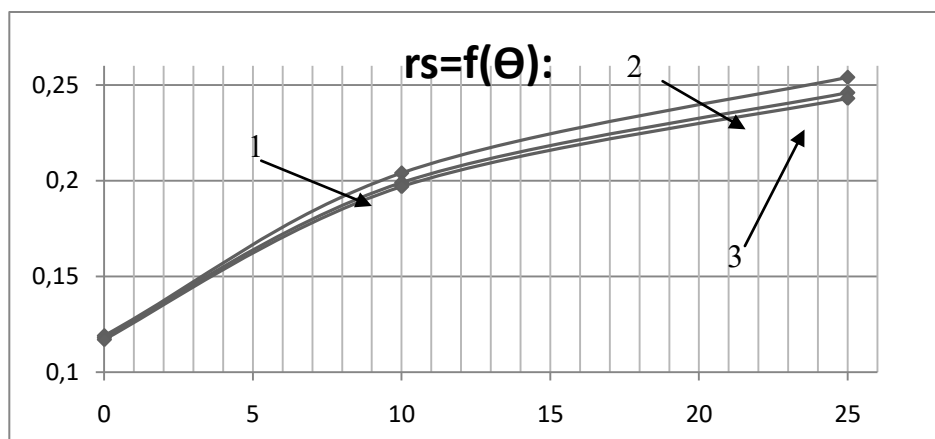


Рисунок 3. График зависимости величины охранной от поворота угла ТС:  
1-при  $r=0,5$ ; 2- при  $r=1,0$ ; 3- при  $r=1,5$ ;

Основываясь на данных рисунка 3 можно установить допустимые пределы изменения показателей  $r_s$ .

Таким образом, разработанная математическая модель и полученные на ее основе результаты позволяют определять как проектные значения параметров и показателей трелевки, так и допустимые диапазоны их изменений с целью стабилизации заданных технологических показателей.

Уместно отметить, что полученные результаты распространяются и на условия трелевки в мерзлых и оттаивающих грунтах [2,4].

В заключение можно сделать ряд выводов.

Во-первых, разрушение почвогрунта осуществляется через механизм сдвига, при этом начальные вертикальные (сжимающие) напряжения по модулю на 30-40% превосходят радиальные (растягивающие) напряжения.

Во-вторых, интенсивность снижения суммарных сдвиговых напряжений от своих начальных значений по мере погружения в почвогрунт хлыста зависит от возможного угла его поворота в процессе трелевки пачки и при двукратном увеличении зоны осадки указанное снижение достигает 10-15% при нулевом угле отклонения и 40-50% при возрастании углового параметра до 25 градусов.

В-третьих, размер максимальной зоны уплотнения почвогрунта в радиальном направлении обосновано принимается в качестве размера ширины охранной полосы корневой системы подроста, которая существенно зависит от углового параметра и требует увеличения на 25-30% при достижении угла поворота значений, равных 20- 25 градусов.

#### Список литературы

1. Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Лепилин Д.В., Жукова А.И. Моделирование уплотнения почвогрунта в боковых полосах трелевочного волока с учетом изменчивости трассы движения. // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. -2010. -№ 6 (111). С. 61-64.
2. Рудов С.Е., Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Куницкая О.А., Григорьева О.И. Особенности взаимодействия трелевочной системы с оттаивающим почвогрунтом. // Лесной вестник. ForestryBulletin. 2019 Т. 23.- № 1. -С. 52-61.

3. Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Рудов С.Е., Жукова А.И. Модель процесса циклического уплотнения грунта в полосах прилегающих к трелевочному волоку. // Вестник КрасГАУ.- 2010. -№ 2 (41) . -С. 8-14.
4. Рудов С.Е., Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Куницкая О.А., Григорьева О.И. Вариационный метод расчета параметров взаимодействия трелевочной системы с массивом мерзлых и оттаивающих почвогрунтов. // Системы. Методы. Технологии. - 2019. - № 1 (41) . -С. 68-77.
5. Григорьев И.В., Макуев В.А., Шапиро В.Я., Рудов М.Е., Никифорова А.И. Расчет показателей процесса уплотнения почвогрунта при трелевке пачки хлыстов.// Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2013. -№ 2 .-С. 112-118

## **АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГРУНТОМЕТАТЕЛЬНЫХ МАШИН**

**А.Ф. Эйвазов, Е.Г. Гетьманов, Н.А. Кулагин**

**Научный руководитель: Шапиро В.Я.**

*Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
им. С.М.Кирова, Санкт-Петербург*

***Аннотация:** Статья посвящена анализу параметров математической модели грунтометательных машин при оперативном тушении лесных пожаров. Рассмотрен процесс съёмки грунта с использованием сферического диска грунтометательного аппарата и сделаны теоретические выводы на основе практических данных об оптимальном угле метания и числе оборотов фрезы. Изучены плюсы и минусы различных инденторов, а так же процесс работы инденторов с массивом грунта.*

***Ключевые слова:** математическая модель, грунтометательная машина, ротор, плотность грунта.*

Лето – наиболее опасный период для лесного фонда. Идеальными факторами для распространения пламени являются высокая температура и низкая влажность. Пожары уносят тысячи гектаров леса, различные объекты инфраструктуры, жизни людей и животных. Люди активно борются с пожарами и пытаются улучшить уже существующие методы тушения. Крайне важны в этом деле быстрдействие и оперативность, ведь пожар намного легче потушить на ранних стадиях.

Вода обладает высокой эффективностью против огня, но для тушения пожаров она требуется в большом количестве, а при крупном возгорании в лесу добыча воды остается проблемой - за короткое время найти источник воды и поставить насосную установку представляется трудной задачей.

При борьбе с огнем можно задействовать вертолёты и специальные самолеты, однако такое тушение дорогое и не всегда эффективное. Это связано с тем, что при большой территории возгорания сложно залить кромку огня. Имеют место длительная заправка и холостой ход, что тоже важно. Верховой пожар тушить авиацией оправдано, тогда как низовой пожар рациональнее тушить более экономичными способами.

Прокладка минеральных полос и засыпка кромки огня грунтом является самым распространённым и эффективным способом тушения пожаров. Добыть грунт проще,

чем найти воду, и более того, такой способ более экономичный, но из-за физико-механических свойств грунта имеется ряд сложностей.

Под слоем лесной подстилки понимается волокнистая по своей структуре среда с включениями элементов древесной (корневой) системы. Данные факторы осложняют добычу грунта.

Скорость распространения огня при низовом пожаре достигает 180-300м/ч(3-5м/мин), поэтому нужно действовать быстро и оперативно. В данном случае используются лопаты, с помощью которых предотвращается и локализуется распространения огня. Однако ручные средства малоэффективны. Они применяются только до доставки автоматизированной техники – грунтометательных машин. Грунтометательные машины разделяются на два вида: движущие за счет операторов и самодвижущие (тракторные): навесные и фрезерные полосопрокладыватели.

Важно понимать взаимодействие различных инденторов с почвогрунтом. Для глинистой и песчаной почвы рациональнее будет использовать в качестве индентора фрезу. Для наглядности рассмотрим схему (рисунок 1) разрушения слоя грунта 1 в процессе воздействия на него сферического диска (круглого индентора) 2 радиусом  $R$  с углом атаки  $\theta$  на произвольный элемент массива 3 [1].

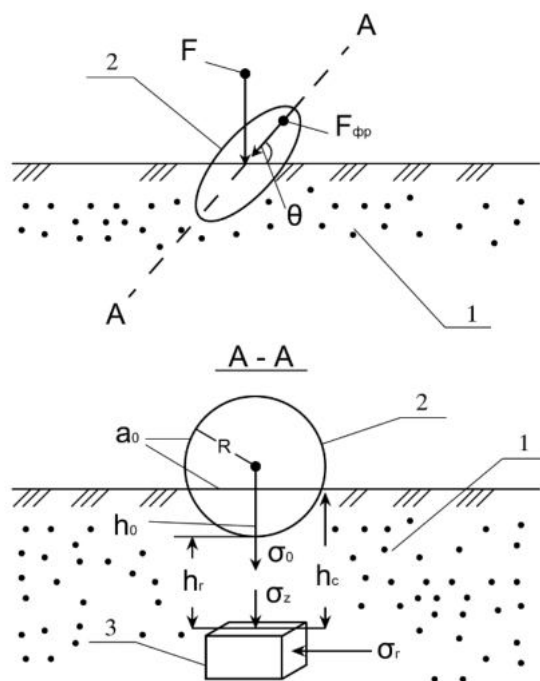


Рисунок 1. Схема взаимодействия сферического диска с массивом грунта:

$F_{\phi p}$  – сила действия диска (контактная сила сближения);  $F$  – вертикальная проекция силы действия диска;  $h_0$  – контактное сближение;  $h_c$  – предельное значение глубины слоя грунта;  $h_c$  – глубина срезаемого слоя грунта;  $\sigma_0$  – максимальное давление в центре контакта;  $\sigma_z$  – вертикальная компонента тензора главных напряжений.

Такое представление о работе фрезерного диска с грунтом позволяет использовать принципы механики контактного разрушения в рамках модели взаимодействия круглого индентора с упругим полупространством.

Важными параметрами работы индентора будут являться контактное сближение  $h_0 = a_0^2 R$ ; и радиус контактной площадки  $a_0 = \sqrt{\frac{3F_{\phi}(1-\nu^2)R}{4E}}$ , на которое действует усредненное по площади начальное вертикальное давление  $\sigma_0 = \frac{F_{\phi} \cos \theta}{\pi a_0^2}$ .

Здесь  $\nu$  – коэффициент Пуассона;  $E$  – модуль деформации массива грунта.

Контактная сила сближения  $F_{\phi}$  возрастает пропорционально сближению  $h_0^{3/2}$ , причем коэффициент пропорциональности  $k = \frac{4E\sqrt{R}}{3(1-\nu^2)}$ .

Важно отметить, что принципы контактной механики разрушения использованы при оценке размеров охранных полос [2], глубины зоны пропитки модифицированных материалов [3] и размера срезаемого слоя коры при роторной (фрезерной) окорке балансов [4].

Указанные процессы носят вероятностный характер, который учитывается в реализации переходных состояний сплошной среды при циклическом воздействии на нее инденторов различной формы [5].

Фреза очень эффективна при разрушении верхнего малоплотного слоя подстилки, однако при более плотных и связанных грунтах ее эффективность теряется. Это следует из анализа зависимости толщины снимаемого слоя  $h_{\Pi}$  от модуля деформации грунта  $E$  для трех категорий грунтов: I-слабых, II- средних и III- крепких (таблица 1) и данных рисунка 2.

Таблица 1. Толщина снимаемого слоя для трех категорий грунтов

Грунт	$E$ , МПа	$h_{\Pi}$ , м(%)
I	0,13	0,122(63)
II	3	0,026(38)
III	13	0,013(32)

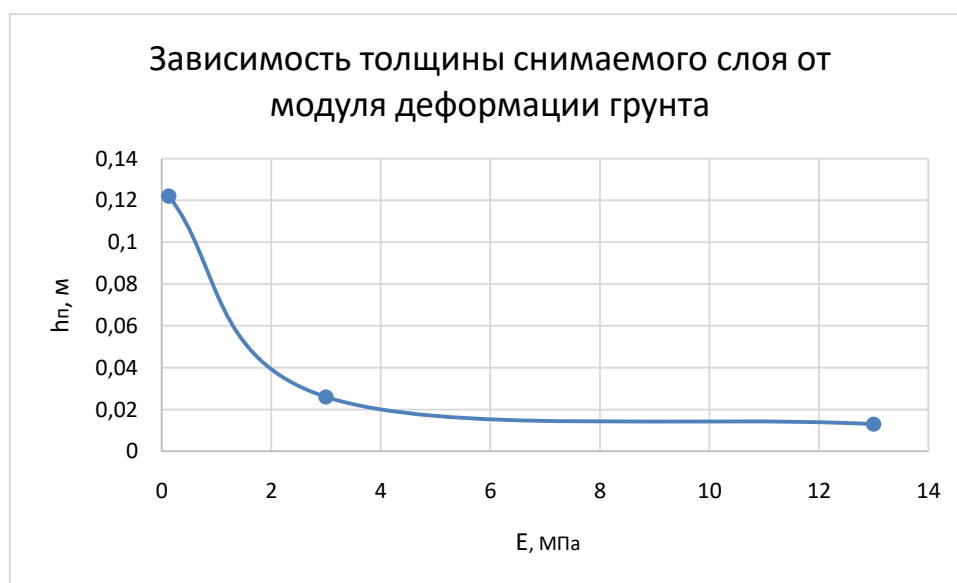


Рисунок 2. Зависимость толщины снимаемого слоя от модуля деформации грунта

На более плотных грунтах рациональнее использовать в качестве индентора штамп. Самая подходящая геометрическая форма индентора для деформации и разрушения породы - цилиндрический штамп с плоским основанием. Схема штампа изображена на рис.3 [6].

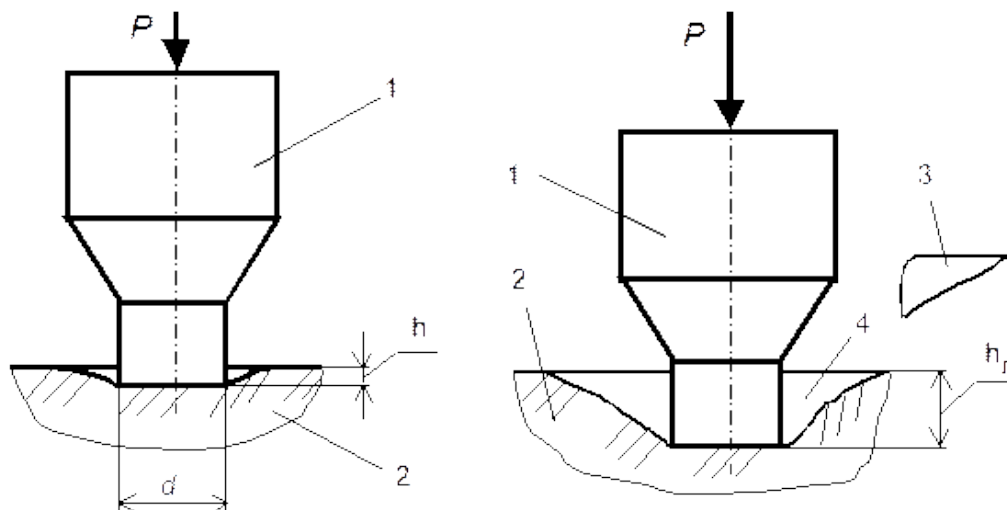


Рисунок 3. Схематическое изображение деформирования и разрушения горной породы при вдавливании штампа: *а* - упругое вдавливание; *б*- хрупкое разрушение горной породы в конце вдавливания; 1 – штамп; 2 – горная порода; 3 – обломок породы; 4 – лунка

На рисунке 4, *а* представлена характерная зависимость  $P$  от  $h$  для хрупких горных пород. Согласно рисунку 4, *а* при деформировании до момента хрупкого разрушения соблюдается закон Гука. По наибольшей нагрузке  $P_{max}$  вычисляется твердость породы по штампу  $p_{ш}$ :

$$p_{ш} = \frac{P_{max}}{S}$$

где  $S$  - площадь штампа ( $S = 0,785d$ );  $d$  - диаметр штампа.

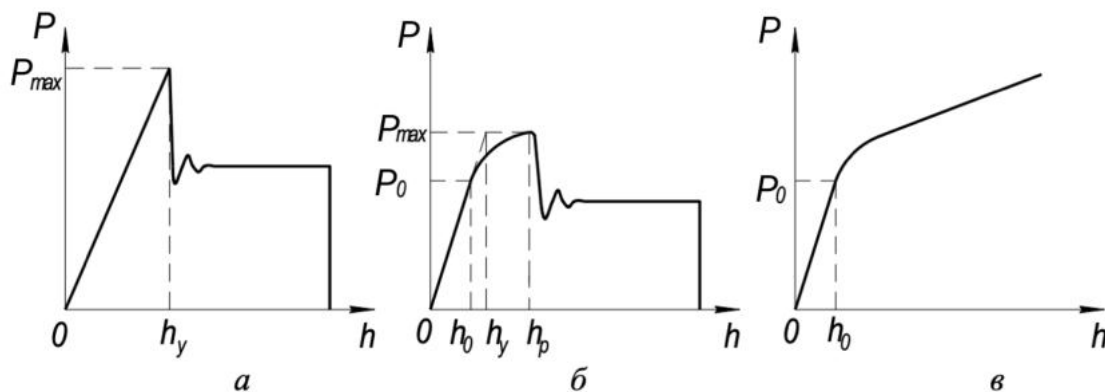


Рисунок 4. Типовые зависимости  $P$  от  $h$  для горных пород различных классов: *а* - хрупких; *б* - пластично-хрупких; *в* – высоко пластичных

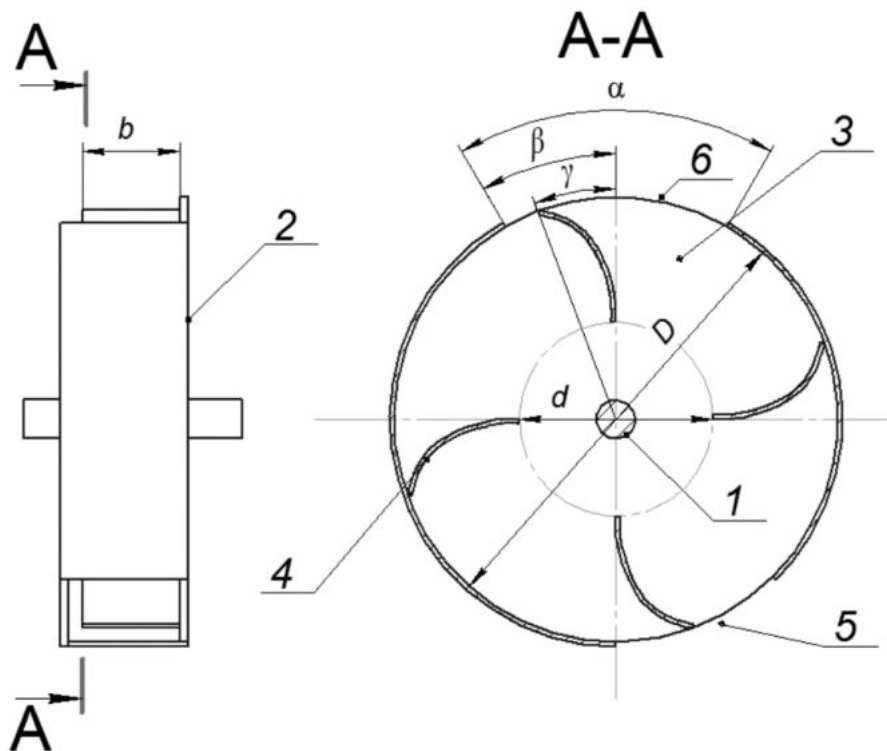


Рисунок 5. Схема рабочего органа грунтометательной машины: 1 – вал; 2 – корпус; 3 – ротор; 4 – лопатки; 5 – приемное отверстие; 6 – разгрузочное отверстие

На рисунке 5 схематически изображён рабочий орган грунтометательной машины, а также указаны его основные параметры.

Факторы, влияющие на эффективность работы машины: угол раскрытия загрузочного отверстия, время работы и частота вращения ротора.

В таблице 2 приведены результаты экспериментальных исследований [7]. В ходе эксперимента устанавливалась частота: 1200 об/мин, 1600 об/мин, 2000 об/мин. Угол  $\alpha$  на основании теоретических расчетов принимался равным  $90^\circ$  и  $110^\circ$ . В результате были выведены величины, характеризующие поверхность, покрытую грунтом после работы грунтомета: дальность метания  $L$  и площадь покрытия грунтом  $S$ .

На рисунке 6 представлены зависимости дальности грунтометания ( $L$ ) и площади покрытия ( $S$ ) для  $\alpha=90^\circ$  и  $\alpha=110^\circ$  в зависимости от частоты вращения ротора  $n$ .

Таблица 2. Влияние частоты вращения ротора на показатели работы

$n$ (об/мин)	$S_{110}, \text{ м}^2$	$L_{110}, \text{ м}$	$L_{90}, \text{ м}$	$S_{90}, \text{ м}^2$
1200	2,4021	3	2,32	1,58444
1600	2,96856	3,26	3,13	2,40791
2000	3,15068	3,46	3,48	2,67716



Анализ данных рисунка 6 показывает, что изменение дальности грунтометания  $L$  при  $\alpha=90^\circ$  и площади покрытия  $S$  при  $\alpha=110^\circ$  от частоты вращения  $n$  носят полиномиальный характер.

Дальность грунтометания  $L$  при  $\alpha=110^\circ$  от частоты вращения  $n$  носит линейный характер; площадь покрытия  $S$  при  $\alpha=90^\circ$  от частоты вращения  $n$  носит логарифмический характер. Стоит так же отметить, что коэффициент детерминации корреляционных зависимостей близок к единице, причем при увеличении угла раскрытия разгрузочного отверстия рабочего органа  $\alpha$  и частоты вращения ротора  $n$  увеличивается площадь  $S$ . Дальность  $L$  становится максимальной при угле раскрытия  $\alpha=90^\circ$  и частоте вращения ротора  $n=2000$  об/мин.

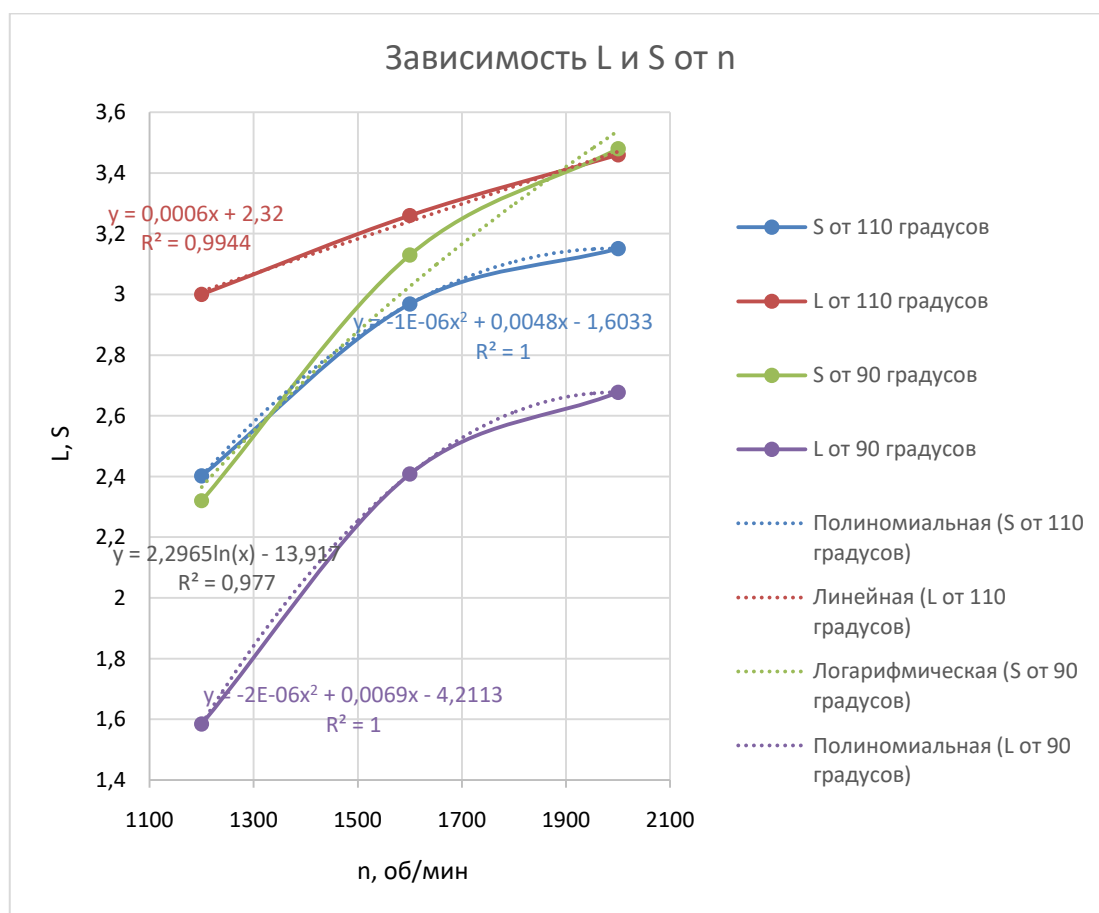


Рисунок 6. Зависимость S и L от n.

Выполненный анализ и результаты исследований позволяют заключить, что математическое моделирование процессов и показателей работы грунтометательной машины является эффективным средством прогнозирования результативности мер по оперативной борьбе с лесными низовыми пожарами.

#### Список литературы

1. Шапиро В.Я., Григорьева О.И., Григорьев И.В., Григорьев М.Ф. Теоретические исследования процесса разрушения массива грунта сферическими ножами при

использовании комбинированных конструкций грунтометов для тушения лесных пожаров. //Известия высших учебных заведений. Лесной журнал.– 2018. – №1(361). – С.61-69.

2. Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Лепилин Д.В., Жукова А.И. Моделирование уплотнение почвогрунта в боковых полосах трелевочного волока с учетом изменчивости трассы движения. Ученые записки Петрозаводского государственного университета. – 2010. – №6 (111).– С.61-64.

3. Куницкая О.А., Шапиро В.Я., Бурмистрова С.С., Григорьев И.В. Определение оптимальных параметров процесса прессования и обезвоживания пропитанных древесных материалов. Вестник Московского государственного университета леса- Лесной вестник.2012.№4.С.110-115.

4. Газизов А.М., Шапиро В.Я., Григорьев И.В. Влияние влажности на развитие процесса разрушения коры при роторной окорке. Вестник Московского государственного университета леса- Лесной вестник.2008.№6.С.129-133.

5. Шапиро В.Я., Шапиро Н.А. Использование цепей Маркова для прогноза эффективности ПИФов // В сборнике: Экономическое развитие: теория и практика. Материалы Международной научной конференции. Председатель ред.совета Бойко И.П. - 2007. - С.79-81.

6. А.Н. Попов, Б.Н. Трушкин, О.Б. Трушкин Разрушение горных пород. Учебное пособие. Издательство Уфимского нефтяного института, Уфа, 2016 г., 138 стр.

7. Чукичев, А. Н. Технологические и теоретические основы фрезерно-метательных машин для тушения лесных пожаров грунтом : специальность 05.21.01 "Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / А. Н. Чукичев. – Санкт-Петербург, 1995. – 40 с.

Секция 2. Математические методы и модели в науках о Земле

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СТЕПНЫХ  
ПОЖАРОВ С УЧЁТОМ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ ВЕТРА

Гаврилов Д.С.

Научный руководитель: Стенгач М.С.

Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П.Королёва, Самара

**Аннотация.** В данной статье подробно представлены формулы по которым можно смоделировать начальный этап степного пожара в виде небольшого очага возгорания с заранее установленными параметрами по модели Гришина, позволяющей достаточно просто получать результат приемлемой точности а также смоделированы тепловые карты температур при разных значениях скорости ветра.

**Ключевые слова.** Степной пожар, математическое моделирование, математическая модель Гришина, тепловые карты температур очага пожара,

За 2020 год в России зарегистрировано более 1400 крупных степных пожаров. Все пожары распространяются с высокой скоростью, а потому несут огромную опасность как для экологии, так и для безопасности человека. Кроме этого они имеют возможность перейти в лесной пожар, тушение которого гораздо дольше и затратнее. Предсказание поведения степного пожара помогло бы в его более эффективном тушении.

Исходя из всего вышеперечисленного построим математическую модель очага возгорания степной растительности и построим тепловую карту температур для различных значений скорости ветра. Заранее оговоримся принять началом координат эпицентр очага возгорания, ось X направить вдоль направления ветра, ось Y перпендикулярно оси X и параллельно поверхности Земли, ось Z перпендикулярно поверхности Земли.

Для математической модели нам понадобятся следующие формулы:

Уравнения сохранения объемных долей компонентов твердой фазы

$$\rho_1 \frac{d\varphi_1}{dt} = R_1, \quad \rho_2 \frac{d\varphi_2}{dt} = R_2, \quad \rho_3 \frac{d\varphi_3}{dt} = \frac{M_c}{M_j} R_3 - \alpha_c R_1, \quad \frac{d\varphi_4}{dt} = 0 \quad (1)$$

Соотношение скорости генерации газовой и дисперсной фазы в результате испарения и химической реакции

$$Q = (1 - a_c)R_1 + R_2 + \frac{M_c}{M_1} R_3 \quad (2)$$

Скорость реакции пиролиза

$$R_1 = k_{01} \rho_1 \varphi_1 \exp\left(-\frac{E_1}{RT_s}\right) \quad (3)$$

Скорость испарения влаги

$$R_2 = k_{02} \rho_2 \varphi_2 T^{-0,5} \exp\left(-\frac{E_2}{RT_s}\right) \quad (4)$$

Скорость горения кокса

$$R_3 = k_{03} s_\sigma \rho_4 c_1 \varphi_3 \exp\left(-\frac{E_3}{RT}\right) \quad (5)$$

Скорость горения горючих продуктов пиролиза

$$R_5 = M_2 k_{05} \left(\frac{c_1 M}{M_1}\right)^{0,25} \left(\frac{c_2 M}{M_2}\right) T^{-2,25} \exp\left(-\frac{E_5}{RT}\right) \quad (6)$$

Массовые скорости образования кислорода, горючих компонентов пиролиза и инертных компонентов воздуха.

$$R_{41} = -R_3 - \frac{M_1}{2M_2} R_5 \quad (7)$$

$$R_{42} = (1 - \alpha_c) \nu_r R_1 - R_5 \quad (8)$$

$$R_{44} = 0 \quad (9)$$

Уравнение состояния газовой фазы

$$P = \frac{\rho_5 RT}{M} \quad (10)$$

Уравнение неразрывности газовой фазы:

$$\frac{\partial \rho_5}{\partial t} + \frac{\partial(\rho v_j)}{\partial x_j} = Q, \quad j = 1, 2, 3 \quad (11)$$

Уравнения сохранения количества движения

$$\begin{aligned} & \frac{\partial(\rho_5 v_1)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_5 v_1^2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho_5 v_1 v_3)}{\partial z} \\ & = \frac{\partial P}{\partial x} - (\rho_5 S c_\alpha v_1 \sqrt{v_1^2 + v_3^2} + \frac{\partial}{\partial x} (\mu_t \frac{\partial v_1}{\partial x})) + \frac{\partial}{\partial z} (\mu_t \frac{\partial v_1}{\partial z}) \\ & \frac{\partial(\rho_5 v_3)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_5 v_1 v_3)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho_5 v_3^2)}{\partial z} \\ & = -\frac{\partial P}{\partial z} - (\rho_5 S c_d v_3 \sqrt{v_1^2 + v_3^2} + \frac{\partial}{\partial x} (\mu_t \frac{\partial v_1}{\partial x})) + \frac{\partial}{\partial z} (\mu_t \frac{\partial v_3}{\partial z}) - \rho_5 g \end{aligned}$$

Уравнение сохранения концентрации компонентов газовой фазы

$$\frac{\partial(\rho_5 C_\alpha)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_5 v_1 C_\alpha)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho_5 C_\alpha v_3)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} (\rho_5 D_t \frac{\partial C_\alpha}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial z} (\rho_5 D_t \frac{\partial C_\alpha}{\partial z}) + R_{5\alpha}, \quad \alpha = \overline{1, 2},$$

где  $R_1, R_2, R_3, R_5$  – массовые скорости реакции пиролиза сухого органического вещества горючих материалов, испарения влаги, горения конденсированных и летучих продуктов пиролиза соответственно;  $c_{pi}, \rho_i, \varphi_i$  – теплоемкости, истинные плотности и объемные доли компонентов многофазной реагирующей среды;  $T_s, T$  – температура конденсированной и газовой фаз соответственно,  $c_\alpha$  – массовые концентрации компонентов газовой фазы ( $\alpha = 1 = O_2, 2$  – горючие компоненты продуктов пиролиза,  $3$  – инертные компоненты воздуха,  $4$  – водяной пар и не реагирующие продукты реакции окисления, пиролиза и горения кокса);  $R_{41}, R_{42}, R_{43}$  – массовые скорости образования  $\alpha$  – компонентов газовой фазы;  $q_2, q_3, q_4$  – тепловые эффекты испарения, горения кокса и окисления летучих продуктов пиролиза;  $E_1, E_2, E_3, E_4, k_{01}, k_{02}, k_{03}, k_{04}$  – Энергии активации и предэкспоненты;  $\nu_r, \alpha_c$  – массовая доля горючего газа в общей массе летучих продуктов и коксовое число горючих материалов;  $\alpha$  – коэффициент теплообмена;  $Q$  – массовая скорость образования газовой фазы;  $v_j$  – скорость по  $j$  оси;  $M_\alpha, M, M_c$  – молекулярные веса индивидуальных компонентов, смеси и углерода соответственно; нижние индексы  $i = 1, 2, \dots, 5$  и  $\alpha = 1, 2, 3$  используются для обозначения термодинамических параметров фаз и компонентов газовой фазы соответственно;  $\mu_t, D_t$  – эффективные коэффициенты турбулентного обмена.

Решив систему уравнений из вышеприведенных формул и обработав результаты, получим тепловые карты температур.

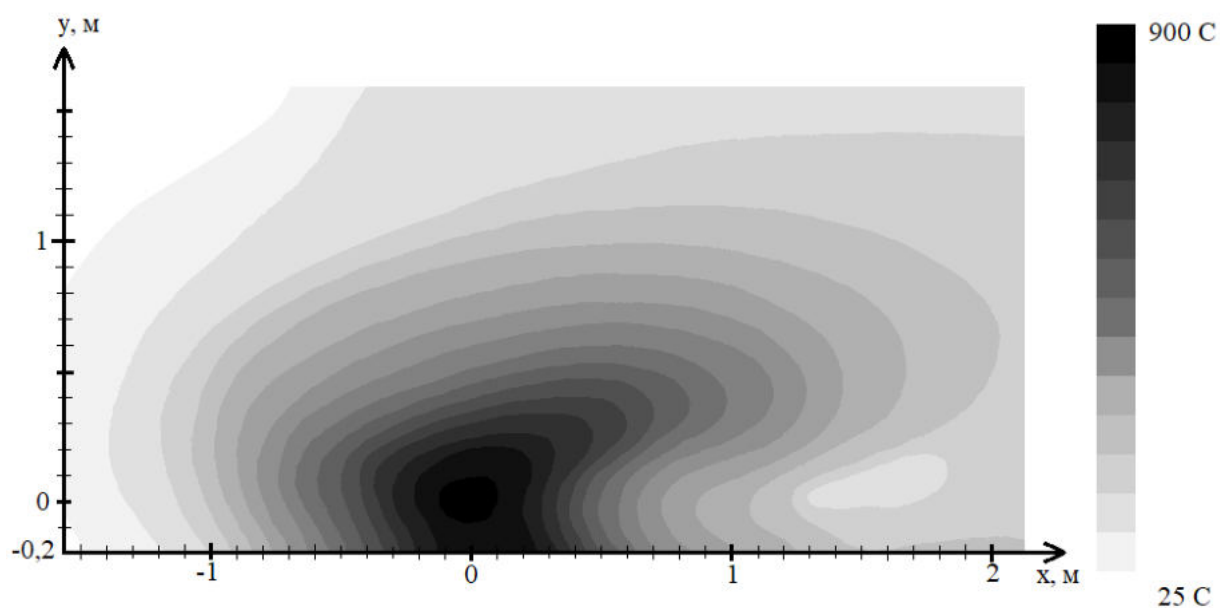


Рисунок 1 Тепловая карта температур при ветре в 3 м/с

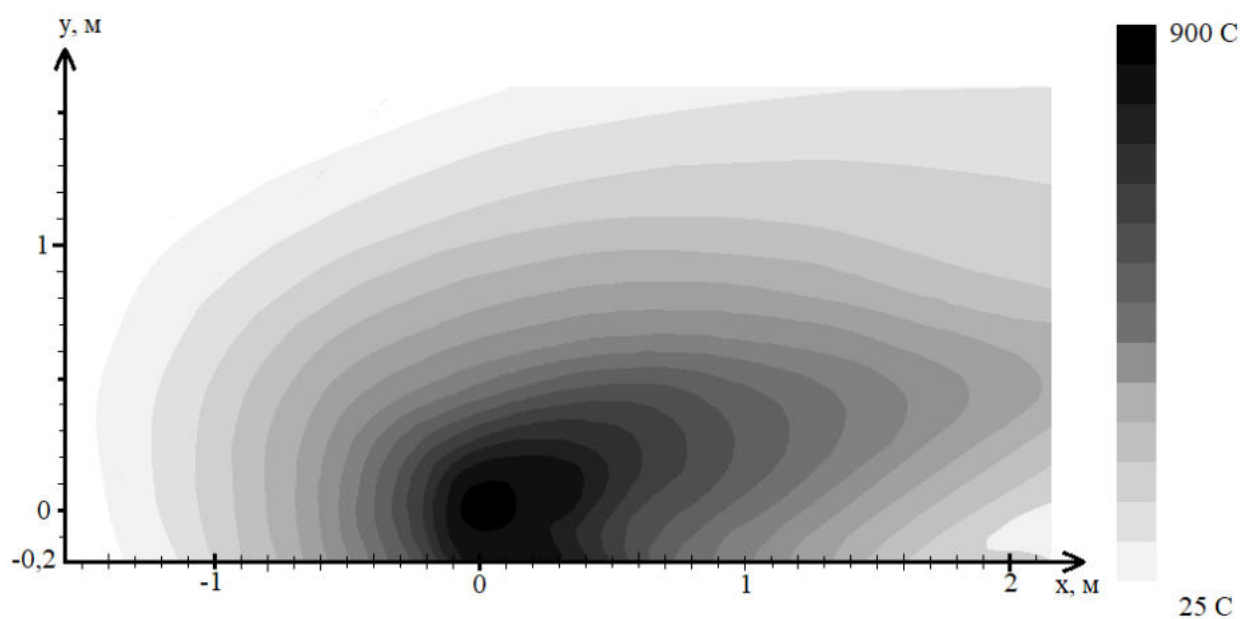


Рисунок 2 Тепловая карта температур при ветре в 5 м/с

Список литературы.

1. Бурасов Д. М., Гришин А. М. Математическое моделирование низовых и степных пожаров. – Кемерово: Практика, 2006. – 133с.
2. Гришин А. М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. Новосибирск, 1992.

### *Секция 3. Статистический анализ и методы оптимизации*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА МНОЖИТЕЛЕЙ ЛАГРАНЖА В ЗАДАЧАХ НА ОПТИМИЗАЦИЮ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**

**Бикетова С.В.**

**Научный руководитель: Затенко С.И.**

**Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им.**

**С.М. Кирова, Санкт-Петербург**

***Аннотация.** В статье рассматривается метод множителей Лагранжа, который используется для оптимизации различных экономических процессов. Представленный метод позволяет перейти от условной оптимизации к безусловной и, соответственно, расширить арсенал доступных средств решения данной проблемы. На примере рассмотрена возможность нахождения оптимального числа закупок при исходном бюджетном ограничении.*

***Ключевые слова:** метод множителей Лагранжа, оптимизация, распределение ограниченных ресурсов, условный экстремум, частная производная.*

***Актуальность работы.** В наши дни математику и экономику рассматривают как две самостоятельные области знаний, каждая из которых обладает собственными объектами и субъектами исследования. Однако, несмотря на это, математические модели и методы играют не последнюю роль в прогнозировании формирования и течения экономических процессов. Метод неопределенных множителей Лагранжа со временем стал занимать настолько солидное место в экономике и теории оптимизации, что без его толкования не обходится ни одно учебное пособие по эконометрике. Например, данный метод позволяет установить наиболее подходящее распределение средств между фирмами, при котором общая суммарная прибыль достигает максимума. В макроэкономике, когда расходы более нескольких миллиардов долларов, расчет с помощью данного метода дает возможность увеличивать прибыль в значительных масштабах, создавая более благоприятную почву для дальнейшего совершенствования производства.*

В ранний период становления нового направления, связанного с применением различных математических методов в экономике, значительная часть попыток как в России, так и за границей были направлены на создание численных методов эффективного решения оптимизационных математических задач, возникающих в экономическом планировании и исследовании операций.

Существуют различные подходы к принятию решений: психологический, основанный на методе аналогий; интуитивный, основанный на предшествующем опыте; на основе здравого смысла и т.д. Однако принятие глобальных решений в экономике и прочих отраслях хозяйства с использованием только личного опыта и интуиции мало эффективно, а порой и ошибочно. Сложный характер рыночной экономики предъявляет более суровые требования к обоснованию принятия решений, хотя и выше перечисленные методы нельзя абсолютно сбрасывать со счета. Одним из методов, удовлетворяющих данным требованиям, является постановка задачи принятия решений с использованием математического аппарата.

Современная экономика в значительной степени полагается на математическое моделирование экономических процессов, а используемый в них математический язык позволяет более точно и недвусмысленно формулировать экономические факты и законы.

Теперь, с совершенствованием технологий, перед экономикой встает задача наиболее подходящего размещения производственных ресурсов. Максимизация прибыли или сокращение убытков не всегда сводится только к вычислениям, так как зачастую бывает необходимо найти недостающие данные. В поисках решения данной проблемы Жозеф Луи Лагранж, величайший французский математик XVIII века, разрабатывает метод расчета оптимального распределения ресурсов, позже названный методом неопределенных множителей Лагранжа. Этот метод довольно прост и удобен для решения задач на оптимизацию. Главным недостатком этого метода является введение вспомогательных переменных и дополнительных уравнений. Стоит подчеркнуть, что если для решения задачи используется метод множителей Лагранжа, то экстремум ищется не на всей области определения, а лишь на множестве, удовлетворяющем определенному условию.

Рассмотрим подробнее метод Лагранжа, как более часто применяемый в теоретических задачах аналогичной тематики. Сам по себе экономический смысл абсолютной величины множителя Лагранжа не очень прост и на прямую связан с контекстом поставленной задачи. Продемонстрируем его на примере задачи на оптимизацию производства.

Цель производителя - максимизировать количество производимого блага за счет эффективного распределения ограниченных ресурсов.

Эта задача решается, исходя из неоклассической экономической теории. Предположим: производство описывается производственной функцией  $U(x, y)$  с частичной заменой факторов производства. Помимо этого, будем опираться на то, что в долгосрочной перспективе фирма-производитель способна постоянно изменять как количество затрачиваемого капитала, так и объем используемого труда.

Из расчета того, что объем производства определяется производственной функцией  $U(x, y)$ , которую мы принимаем за известную, мы делаем вывод, что максимальный объем производства при наличии ограничения  $I = P_x x + P_y y$  может быть достигнут только благодаря оптимальному выбору величин  $x$  и  $y$ . Следовательно, регулирование производства в долгосрочной перспективе осуществляется путем правильного выбора набора потребляемых ресурсов  $x$  и  $y$ , когда  $P_x$  и  $P_y$  рассматриваются как заданные извне переменные.

Используя математический аппарат, проблема стационарного равновесия производителя в длительном периоде предписывает решению нахождение набора факторов  $x, y$  ( $x > 0, y > 0$ ), который, с одной стороны, лежит на изокосте  $I = P_x x + P_y y$ , а с другой будет реализовывать максимум функции  $U(x, y)$ :

$$\begin{cases} U(x, y) \rightarrow \max \\ I = P_x x + P_y y \\ x > 0, y > 0 \end{cases}$$

Эта система отражает поставленную выше задачу оптимизации и является частным случаем задачи нелинейного программирования. Решить ее возможно с помощью поиска экстремальных значений переменных внутри указанной области.

В этом случае применим метод неопределенных множителей Лагранжа. Сущность метода заключается в том, что он позволяет представить задачу на условный экстремум функции  $U(x, y)$ , как задачу на безусловный экстремум функции  $L(x, y, \lambda)$ , содержащей дополнительную переменную  $\lambda$  - множитель Лагранжа. Функцию  $L(x, y, \lambda)$ , определим так, чтобы выполняя условие  $I = P_x x + P_y y$ , она не отличалась от функции  $U(x, y)$ :

$$L = U(x, y) - \lambda(P_x x + P_y y - I)$$

Далее, отметим, что необходимым условием экстремума данной функции является равенство нулю частных производных от  $L(x, y, \lambda)$  по независимым переменным  $x, y, \lambda$ :

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial x} = \frac{\partial U}{\partial x} - \lambda P_x = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial y} = \frac{\partial U}{\partial y} - \lambda P_y = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} = I - P_x x - P_y y = 0 \end{cases}$$

После решения этой системы уравнений, мы найдём значения и оптимальные количества каждого из благ, в нашем случае  $x$  и  $y$ . То есть метод позволяет нам выявить значения переменных, которые максимизируют полезность индивида от потребления данного набора благ при заданном ограничении. Именно на это объем каждого блага потребитель предъявит спрос на рынке. Кроме того, стоит отметить, что ненулевые множители Лагранжа показывают, какой из факторов производства в оптимальном плане будет израсходован полностью, что некоторым образом ограничивает возможность дальнейшего увеличения выпуска.

Более наглядно это метод неопределенных множителей Лагранжа можно рассмотреть на практике оптимизации закупок на основе данных торгово-закупочной фирмы. [2]

Исходные данные задачи на оптимизацию закупок: бюджет закупок равен 3000 руб.

Ожидаемый спрос на товар А, кг	15
Закупочная цена товара А, руб/кг	125



Ожидаемый спрос на товар Б, кг	20
Закупочная цена товара Б, руб/кг	105

Ожидаемый спрос на товар В, кг	5
Закупочная цена товара В, руб/кг	60

Исходя из данных, составим систему уравнений. Теперь задача принимает данный вид:

$$\begin{cases} (x_A - 15)^2 + (x_B - 20)^2 + (x_B - 5)^2 \rightarrow \min \\ 3000 = 125x_A + 105x_B + 60x_B \\ x_A \geq 0, x_B \geq 0, x_B \geq 0 \end{cases}$$

Для решения задачи методом неопределенных множителей Лагранжа преобразуем эту задачу условной оптимизации в задачу безусловной оптимизации и сформируем саму функцию Лагранжа, которую фирме необходимо будет минимизировать. Для этого к исходной оптимизируемой функции прибавляем ограничение  $I = P_A x_A + P_B x_B + P_B x_B$ , умноженное на множитель Лагранжа:

$$L = (x_A - 15)^2 + (x_B - 20)^2 + (x_B - 5)^2 - \lambda(125x_A + 105x_B + 60x_B - 3000)$$

Вычислим частные производные, приравнявая полученные значения к нулю:

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial x_A} = 2x_A - 30 + 125\lambda = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial x_B} = 2x_B - 40 + 105\lambda = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial x_B} = 2x_B - 10 + 60\lambda = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda} = 3000 - 125x_A - 150x_B - 60x_B = 0 \end{cases}$$

Теперь нам остается решить эту систему уравнений. Откуда и получаем, что:

$$\begin{cases} x_A = 9,731 \\ x_B = 15,574 \\ x_B = 2,471 \\ \lambda = 0,0843 \end{cases}$$

Таким образом, оптимизируя закупки данных 3-х товаров А, Б и В, фирме необходимо произвести закупку 9,731 кг товара А, 15,574 кг – товара Б и 2,471 кг – товара В.

Как итог мы видим, что в экономических задачах целевая функция распределения ресурсов имеет размерность стоимости, а множители Лагранжа –

размерность стоимости единицы ресурса. Вследствие этого под множителями Лагранжа часто подразумеваются теневые цены соответствующих ресурсов.

Также, например, если компания стремится максимизировать прибыль то, оптимальная сумма расходов находится в вершине параболы. Соответственно, когда индивидуум стремится максимизировать полезность, он вновь сталкивается с математической проблемой условного экстремума. И эта проблема, как и рассмотренная ранее задача, может быть решена с помощью метода Лагранжа.

Обобщая вышесказанное, следует отметить, что экономическая система охватывает различные параметры и особенности производства, например, такие как: распределение, обмен и потребление материальных благ. Функционирование экономических систем, за возможным исключением примитивных случаев, по своей сути является многокритериальным. И применяя именно метод неопределенных множителей Лагранжа для вычисления условных экстремумов в экономических исследованиях, мы сможем находить экстремальные значения многих экономических показателей, а именно максимальную прибыль и полезность набора благ, минимальные издержки производства и не только, также применение данного метода позволит решать экономические задачи на оптимизацию производственных процессов в целом.

#### **Список литературы**

1. Балдин, К. В. Математические методы и модели в экономике : учебник / К. В. Балдин, В. Н. Башлыков, А. В. Рукосуев ; под общей редакцией К. В. Балдина. — 2-е изд., стер. — Москва : ФЛИНТА, 2017. — 328 с.
2. Грибанова, Е.Б. Решение задачи оптимизации закупок с помощью обратных вычислений // Экономический анализ: теория и практика. – 2018. – Т. 17, № 3. – С. 586 – 596.
3. Корсакова, Л.Г. Математическое моделирование эффективности производства продукции при разнородных ограничениях / Л.Г.Корсакова// Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. — 2011. — № 3. — С. 127-131.
4. Лагоша, Б.А. Оптимальное управление в экономике: Учебное пособие/ Московский государственный университет экономики, статистики и информатики, Москва, 2004. – 133 с.

### **ОПТИМИЗАЦИЯ МАРКЕТИНГОВОЙ СТРАТЕГИИ ДЛЯ ТОРГОВЫХ МАРОК ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ ГОРОДА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА И СИМПЛЕКС МЕТОДА**

**Михайлов М.О., Игнатьев В.А., Синяева Д.А.**

**Научный руководитель: Алексеева С.В.**

**Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет**

**им. С. М. Кирова, Санкт-Петербург**

*Аннотация. Работа посвящена вопросу оптимизации маркетинговой стратегии для торговых марок общественного питания города Санкт-Петербурга с целью максимизации рейтинга посещаемости их заведений. Оптимизация происходит по пяти среднемесячным параметрам: рейтинг торговой марки, число распространённых рекламных листовок, рейтинг рекламы на телевидении и радиовещании, рейтинг наружной рекламы, частота показов интернет-рекламы.*

*Решение выполняется путём применения симплекс-метода линейного программирования к математической модели, представленной уравнением линейной регрессии. Регрессионные и оптимизационные расчёты произведены в программе Excel Microsoft 2019.*

***Ключевые слова:** оптимизация, линейное программирование, математическая модель, симплекс-метод, уравнение регрессии.*

Постановка задачи. На основании имеющихся в сети свободных данных был собран и систематизирован статистический материал по 40 предприятиям общественного питания, отображающий зависимость рейтинга посещаемости ( $\phi$ ) от пяти среднемесячных показателей за 2019 год: рейтинг торговой марки ( $\xi_1$ ), число распространённых рекламных листовок ( $\xi_2$ ), рейтинг рекламы на телевидении и радиовещании ( $\xi_3$ ), рейтинг наружной рекламы ( $\xi_4$ ), частота показов интернет-рекламы ( $\xi_5$ ) — и одного регулируемого параметра ( $\tau$ ): количества заведений сети. Необходимо максимизировать значение рейтинга посещаемости ( $\phi$ ) по вышеперечисленным показателям при различных значениях регулируемого параметра ( $\tau$ ).

Таблица 1. Входные данные

№ бренд а	Кол-во заведений, шт.	Рейтинг бренда, ед.	Листовки, тыс.	Рейтинг на ТВ и радио, ед.	Рейтинг наружной рекламы, ед.	Просмотры в Интернете, тыс.	Рейтинг посещаемости, ед.
	$\tau$	$\xi_1$	$\xi_2$	$\xi_3$	$\xi_4$	$\xi_5$	$\phi$
<b>1</b>	78	44	83,1	635	978	1129	1219659
<b>2</b>	85	42	72,2	668	936	1285	1194932
<b>3</b>	60	43	59,5	702	724	1189	1230889
<b>4</b>	10	42	42,6	12	285	128	155696
<b>5</b>	99	43	472,5	134	483	106	469996
<b>6</b>	37	44	482,4	275	356	354	516814
<b>7</b>	44	40	604,8	91	344	147	393732
<b>8</b>	43	40	276,2	24	411	96	327364
<b>9</b>	13	42	285,6	103	297	83	262197
<b>10</b>	7	44	100,5	38	128	32	109002
...				...			
<b>31</b>	5	43	102	11	117	38	93069
<b>32</b>	56	43	642,4	215	503	368	588485
<b>33</b>	9	45	213,3	37	173	95	174895
<b>34</b>	21	36	340,8	33	151	59	172283
<b>35</b>	18	44	280,8	23	127	33	149459
<b>36</b>	11	33	78	27	134	157	140096
<b>37</b>	13	42	72,9	9	99	41	86821
<b>38</b>	11	43	321,6	0	110	28	129075
<b>39</b>	9	38	304,2	14	88	21	120941
<b>40</b>	6	25	44,1	4	29	9	30967

Для решения задачи оптимизации при помощи линейного программирования удобно представить зависимость максимизируемого параметра  $\varphi$  от прочих  $\tau, \xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4, \xi_5$  как уравнение линейной регрессии вида:

$$y = a_0 + a_1 * x_1 + a_2 * x_2 + \dots + a_k * x_k$$

В ходе регрессионного анализа, применённого к входным данным, находим значение коэффициентов регрессии. Расчёты в программе Microsoft Excel 2019 показали, что:

$$a_0 = -9150,35046, a_1 = 867,27935, a_2 = 453,75019, a_3 = 172,14380, \\ a_4 = 697,72251, a_5 = 347,94864, a_6 = 291,69615.$$

Подставляя значения и переменные, получаем следующее уравнение:

$$\varphi = -9150,35046 + 867,27935 * \tau + 453,75019 * \xi_1 + 172,14380 * \xi_2 + \\ + 697,72251 * \xi_3 + 347,94864 * \xi_4 + 291,69615 * \xi_5 \quad (1)$$

Уравнение (1) есть не что иное, как математическая модель зависимости рейтинга посещаемости от различных видов рекламы, а также числа и рейтинга заведений. Вычисленный в ходе регрессионного анализа коэффициент детерминации  $R^2$  равен 0,996 — это обозначает крайне высокую точность моделирования, что позволяет прогнозировать посещаемость при уже принятых мерах маркетинговой стратегии.

Таблица 2. Сравнение данных

№ бренда	Фактический рейтинг посещаемости, ед.	Смоделированный рейтинг посещаемости, ед.
1	1219659	1205440
2	1194932	1262642
3	1230889	1161182
4	155696	170788
5	469996	470033
6	516814	544950
7	393732	377338
8	327364	281593
9	262197	269763
10	109002	114571
11	64239	73043
12	120790	124201
...	...	...
32	588485	601886
33	174895	169514
34	172283	176839
35	149459	144626
36	140096	140050
37	86821	86417
38	129075	121704
39	120941	114777
40	30967	30495

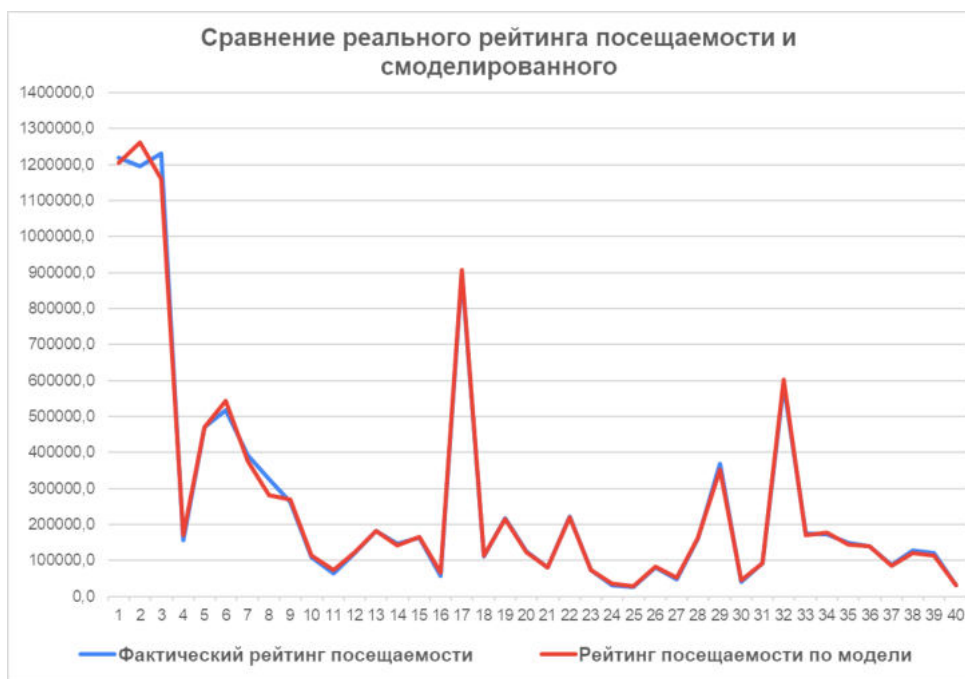


Рисунок 1. Сравнение реального рейтинга посещаемости и смоделированного

Очевидно, что уравнение (1) может выступать в качестве функционала на некотором  $E^7$  (семимерное евклидово пространство). В таком случае максимальное значение функционала  $\varphi = F(x^*)$  достигается на экстремальном элементе  $x^* \in E^7$ , за компоненты координатного представления которого можно принять слагаемые многочлена (1):

$$\|x^*\| = \|a_0 \quad \tau \quad \xi_1 \quad \xi_2 \quad \xi_3 \quad \xi_4 \quad \xi_5\|^T$$

Без наличия функций, ограничивающих целевой функционал, или при малом их количестве применение симплекс-метода нецелесообразно. Следовательно, необходимым условием для его применения является полноценный учёт ограничений, вытекающих из технического смысла задачи и особенностей самого метода.

Так, получаем следующую задачу оптимизации с параметром  $\tau \in [2, +\infty]$ :

найти максимум  $F(a_0, \tau, \xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4, \xi_5) = -9150,35046 + 867,27935 * \tau + 453,75019 * \xi_1 + 172,14380 * \xi_2 + 697,72251 * \xi_3 + 347,94864 * \xi_4 + 291,69615 * \xi_5$   
по  $\{\xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4, \xi_5\}$

$$\text{при ограничениях: } \begin{cases} \xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4, \xi_5 \geq 0 \\ \xi_1 = 47 - \left\lfloor \frac{\tau}{20} \right\rfloor \\ \xi_2 \geq 10 \\ \xi_2 + \xi_4 \geq 20 * \tau \\ 5 * \xi_3 - 3 * \xi_5 \leq 0 \\ 7 * \xi_2 - 4 * \xi_4 \leq 0 \\ 6 * \xi_2 + 4 * \xi_3 + 13 * \xi_4 + 5 * \xi_5 \leq 300 * \tau \end{cases}$$

В Microsoft Excel 2019 создается шаблон решений, содержащий целевой функционал и установленные ограничения. При помощи функции поиска решений, выбрав в соответствующей графе симплекс-метод, получаем ряд решений с большим количеством десятичных знаков, когда как все исходные данные, за исключением  $\xi_2$ , представляют собой целые числа. Округление величин в меньшую сторону приведет к нарушению условий максимума, а следовательно, к появлению погрешности вычислений, значимость которой сводится к ничтожно малой по мере роста параметра  $\tau$ . Данной погрешностью следует пренебречь, поскольку она мала относительно минимального из максимизированных значений (при параметре  $\tau=2$ ).

Таблица 3. Оптимизации

№ оптимизации	Кол-во заведений, шт.	Рейтинг бренда, ед.	Листовки, тыс.	Рейтинг на ТВ и радио, ед.	Рейтинг наружной рекламы, ед.	Просмотры в Интернет, тыс.	Рейтинг посещаемости, ед.
	$\tau$	$\xi_1$	$\xi_2$	$\xi_3$	$\xi_4$	$\xi_5$	$\Phi$
<b>1</b>	2	47	14,5	14	25	24	41874
<b>2</b>	3	47	21,8	22	38	36	57603
<b>3</b>	4	47	29	29	50	49	72561
<b>4</b>	5	47	36,3	36	63	61	87593
<b>5</b>	6	47	43,6	44	76	73	103322
<b>6</b>	7	47	50,9	51	89	85	118354
<b>7</b>	8	47	58,1	58	101	98	133312
<b>8</b>	9	47	65,4	66	114	110	149042
<b>9</b>	10	47	72,7	73	127	122	164073
<b>10</b>	11	47	80	81	140	135	180094
<b>11</b>	12	47	87,2	88	152	147	194761
<b>12</b>	13	47	94,5	95	165	159	209792
...	...						
<b>92</b>	93	43	669	678	1170	1130	1415087
<b>93</b>	94	43	676,3	685	1183	1142	1430118
<b>94</b>	95	43	683,6	692	1196	1154	1445150
<b>95</b>	96	43	690,9	700	1209	1167	1461171
<b>96</b>	97	43	698,1	707	1221	1179	1475838
<b>97</b>	98	43	705,4	714	1234	1191	1490869
<b>98</b>	99	43	712,7	722	1247	1203	1506599
...	...						

В заключение сравним значения показателя  $\Phi$  для теоретических и максимальных реальных заведений с одинаковым  $\tau$ .

Таблица 4. Сравнение данных 2

Показатель $\tau$ , шт.	Фактический $\Phi$ , ед.	Оптимальный $\Phi$ , ед.	Показатель $\tau$ , шт.	Фактический $\Phi$ , ед.	Оптимальный $\Phi$ , ед.
<b>2</b>	24639	41874	<b>19</b>	218401	301929
<b>3</b>	57825	57603	<b>22</b>	222961	347559

<b>4</b>	48872	72561	<b>35</b>	121810	545177
<b>5</b>	91174	87593	<b>37</b>	539876	575864
<b>6</b>	28441	103322	<b>38</b>	898512	591594
<b>7</b>	107909	118354	<b>43</b>	294617	667214
<b>8</b>	123238	133312	<b>44</b>	392198	682943
<b>9</b>	173105	149042	<b>56</b>	616729	865529
<b>10</b>	178744	164073	<b>60</b>	1152929	926815
<b>11</b>	153154	180094	<b>78</b>	1206617	1201205
<b>13</b>	261825	194761	<b>85</b>	1269998	1307919
<b>14</b>	143922	209792	<b>99</b>	473876	1521922
<b>17</b>	368376	225522			
<b>18</b>	184401	271241			

Предоставим графическое соотношение исследуемых параметров:



Рисунок 2. Сравнение фактического рейтинга посещаемости и оптимального согласно модели

Исходя из рисунка 2, можно сделать вывод о том, что торговым маркам с меньшим количеством заведений удаётся выстраивать маркетинговую стратегию ближе к оптимальной, чем брендам с большим количеством заведений. На основании этого можно предположить, что значительные затраты на рекламу вызывают трудности в менеджменте выделяемых на неё ресурсов.

### Список литературы

1. Умнов А.Е. Методы математического моделирования: Учебное пособие. – М.: МФТИ, 2019.
2. Магнус Я.Р., Катышев П.К., Пересецкий А.А. Эконометрика. Начальный курс: Учеб. — 6-е изд., перераб. и доп. - М.: Дело, 2004. [Электронный ресурс]URL: <http://math.isu.ru/>
3. Гуров С.В. Математические модели оптимизационных задач. Учебное руководство по выполнению контрольной работы для студентов специальности 080200 «Менеджмент». – СПб.: ЛТУ, 2013.
4. Н.Дрейпер, Г.Смит. Прикладной регрессионный анализ: В 2-х книгах, Кн.1. – М.: Финансы и статистика, 1986. Кн.2. – М.: Финансы и статистика, 1987.



*Секция 4. Математическое моделирование экономических и социальных процессов*

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОИМОСТИ КРИПТОВАЛЮТЫ  
ETHEREUM В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДВИЖЕНИЙ КРИПТОВАЛЮТЫ  
BITCOIN МЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ**

**Гаврилов Д.О.**

**Научный руководитель: Стенгач М.С.**

**Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П.Королёва, Самара**

*Аннотация.* Рынок криптовалют является сравнительно молодым и не изученным для мирового рынка. В данной работе применён метод наименьших квадратов для моделирования динамики движения криптовалюты Ethereum в зависимости от колебаний криптовалюты Bitcoin. Модель отображает основное направление движения, но требует уточнения.

**Ключевые слова:** криптовалюта, стоимость, метод наименьших квадратов, модель.

Товарно-денежные отношения прогрессируют параллельно с эволюцией человека. С каждым годом все заметнее становится трансформация денежных средств. Мы стали свидетелями появления абсолютно нового средства обмена, оплаты и хранения средств – криптовалюты [1], которое стало возможным благодаря развитию информационных технологий. Её значимость стремительно увеличилась за последние 10 лет, стимулировав резкий рост стоимости. Из-за невозможности регулировать рынок новой цифровой валюты государства скептически относятся к ней и не спешат узаконивать её [2].

При исследовании криптовалют необходимо учитывать тот факт, что, несмотря на то, что они предполагают под собой посреднический инструмент в процессе рыночного обмена, для многих трейдеров рынка криптовалют они стали объектом для спекуляций, краткосрочной торговли и инвестиций, подобно фондовому рынку. Главным отличием здесь является отсутствие регуляторов и привязки к реальному сектору для первых криптовалют [3], например, Bitcoin (BTC). В последнее время же проводятся попытки создания регуляторов. А возможность на существование по большей части получают те криптовалюты, которые обеспечиваются реальным функционирующим проектом, чаще всего интернет-проектом. Также присутствуют случаи, когда стоимость необеспеченных токенов вырастает в десятки и сотни раз. Например, токен Doge, вокруг которого был искусственно создан ажиотаж интернет пользователями.

В настоящее время не имеется большой материальной базы по моделированию динамики цены криптовалют. Целью данной работы является нахождение параметров аппроксимирующей квадратичной функции с помощью метода наименьших квадратов [4] для моделирования стоимости одной криптовалюты в зависимости от движений криптовалюты Bitcoin (BTC), так как она обладает наибольшей капитализацией на рынке криптовалют и оказывает доминирующее влияние на формирование их

стоимости. Далее будет исследоваться динамика цены криптовалюты Ethereum (ETH) относительно цены криптовалюты Bitcoin (BTC). Занесём данные о ценах за неделю в таблицу 2. Информация была взята с сайта coingecko.com в 2021 году.

Таблица 1. Стоимость криптовалют

Показатель	25.05	26.05	27.05	28.05	29.05	30.05	31.05
X – Цена BTC (USD)	37696	38207	38804	39715	36820	34338	35550
Y – Цена ETH (USD)	1926	2498	2604	2774	2814	2332	2376

Составим функцию трех переменных и определим, при каких значениях  $a$ ,  $b$ ,  $c$  эта функция принимает наименьшее значение:

$$F(a,b,c) = \sum_{i=1}^n (ax_i^2 + bx_i + c - y_i)^2 \rightarrow \min$$

Функция  $F(a,b,c)$  приобретёт наименьшее значение при условии, что частные производные  $F'_a(a,b,c)$ ,  $F'_b(a,b,c)$ ,  $F'_c(a,b,c)$  равны 0.

$$\begin{cases} F'_a(a,b,c) = \sum_{i=1}^n 2(ax_i^2 + bx_i + c - y_i) \times x_i^2 = 0 \\ F'_b(a,b,c) = \sum_{i=1}^n 2(ax_i^2 + bx_i + c - y_i) \times x_i = 0 \\ F'_c(a,b,c) = \sum_{i=1}^n 2(ax_i^2 + bx_i + c - y_i) = 0 \end{cases}$$

Данная система имеет одно решение, она состоит из трёх линейных уравнений и имеет столько же неизвестных. Найдём необходимые коэффициенты и составим уравнение функции:

$$y = 1.02 \times 10^{-5} \times x_i^2 - 0.70524 \times x_i + 14472.5$$

Результаты, полученные с помощью функции, в сравнении с реальными данными приведены в таблице 2.

Таблица 2. Сравнение реальных и рассчитанных данных

	25.05	26.05	27.05	28.05	29.05	30.05	31.05
Фактическая стоимость	1926	2498	2604	2774	2814	2332	2376
Рассчитанная стоимость	2413	2499	2498	2586	2363	2308	2319

Данные, полученные с помощью составленной функции, качественно отражают динамику движения реальной стоимости криптовалюты и в основном следуют за ней. Отклонения были два раза – 27 и 29 числа фактические цены выросли, рассчитанные же с помощью формулы уменьшились. Также 25 и 29 заметно существенное количественное отклонение. В процессе расчётов велась работа с числами до 19

порядка, в следствие чего для получения более точных результатов требуется специальное ПО. Также для устранения большого количественного отклонения необходимо увеличивать количество исходных данных.

Вывод: моделирование зависимости стоимости Ethereum (ETH) от Bitcoin (BTC) с помощью метода наименьших квадратов смогло описать курс криптовалюты. Актуальным является уточнение данного метода с помощью более качественных расчётов с мощным устройством для проведения математических вычислений, расширение анализируемых данных.

#### **Список литературы**

1. Юффа, Д. А. Факторы курсообразования и методы прогнозирования курсов криптовалют. Закономерности на криптовалютном рынке / Д. А. Юффа. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2019. — № 21 (259). — С. 285-288.
2. Сафиуллин М.Р., Ельшин Л.А., Абдукаева А.А. Разработка стохастической модели среднесрочного прогнозирования курса криптовалют (на примере биткоина) // Финансы и кредит. — 2018. — Т. 24, № 5. — С. 1046 — 1060.
3. Хохлов В., Чайкина Е.В., Посная Е.А. Экономико-математическая модель зависимости курса криптовалюты от эксплораторных факторов//Финансовые исследования. – 2020. – С. 118-130.
4. Метод наименьших квадратов: метод. указания / сост.: Л.В. Коломиец, Н.Ю.Поникарова. - Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2016. – С. 13 - 16.

### **ТЕОРИЯ ИГР В ЭКОНОМИКЕ.**

#### **КАК ТЕОРЕМА НЭША ПОМОГАЕТ РЕШАТЬ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ**

**Кисельчук А.А. Емельянов В.В.**

**Научный руководитель: Затенко С.И.**

**Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет**

**им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург**

*Аннотация. В данной работе рассмотрены основные принципы теории игр, использующиеся при решении экономических задач и учитывающие поведение различных субъектов в условиях конфликтных ситуаций. Рассмотрена математическая модель равновесия Нэша, характеризующая ситуацию устойчивого равновесия. Данная модель демонстрирует эффективность принципа взаимовыгодного сотрудничества между всеми участниками рынка. Также в статье приведены конкретные примеры того, как равновесие Нэша решает современные экономические проблемы.*

*Ключевые слова: Теория игр, равновесие Нэша, экономическое равновесие, бескоалиционные игры, математическая модель*

Каждый человек в современном мире играет множество социально-значимых ролей. В зависимости от исполняемой роли индивид, принимает множество решений, как правило в условиях неопределенности. Если результат совместной деятельности зависит от двух или более сторон, то могут возникнуть ситуации, в которых участники преследуют различные интересы, т.е. возникает

конфликтная ситуация. В данной ситуации каждый из игроков будет стремиться принять оптимальное с его точки зрения решение, которое максимизирует выигрыш. Теория игр – раздел математики, который изучает алгоритмы поведения отдельно взятых субъектов (игроков), когда критерий принятия решения каждого зависит от решений, принимаемых остальными. Таким образом данная математическая теория рассматривает методы принятия решения в конфликтных ситуациях.

Теорию игр можно разделить на несколько разделов, одним из них является некооперативная (бескоалиционная) теория игр. Некооперативная игра – математическая модель взаимодействия двух и более сторон (игроков), в процессе которой взаимодействующие стороны никак не могут контактировать друг с другом (создавать коалиции) и координировать дальнейшие действия. Строгое определение некооперативной игры в нормальной форме выглядит так:

Бескоалиционной игрой называется система

$$\Gamma = \langle I, \{x_i\}_{i \in I}, \{H_i\}_{i \in I} \rangle \quad (1)$$

в которой  $\Gamma$  – бескоалиционная игра,  $I$  и  $x_i, i \in I$ , являются множествами, а  $H_i$  – функциями на множестве  $x = \prod_{i \in I} x_i$ , принимающими вещественные значения.

При этом элементы множества  $I$  называются *игроками*, элементы каждого из множеств  $x_i$  – стратегиями игроков  $i$ , элементы декартова произведения  $x$  – *ситуациями*, каждая функция  $H_i$  – функцией *выигрыша* игрока  $i$ , а ее значение  $H_i(x)$  в ситуации  $x$  – *выигрышем* игрока  $i$  в ситуации  $x$ . Подмножества множества всех игроков мы будем называть *коалициями*.

Бескоалиционность игры (1) следует понимать так, что «коалициям» не предписывают каких-либо стратегических возможностей или интересов, за исключением тех возможностей, которые вытекают из стратегических возможностей и интересов отдельных игроков.

Джон Форбс Нэш-младший (англ. John Forbes Nash, Jr.; 13 июня 1928, Блуфилд, Западная Виргиния — 23 мая 2015, Нью-Джерси) — американский математик, работавший в области теории игр, дифференциальной геометрии и изучения уравнений в частных производных. Его исследования внесли огромный вклад в теорию игр. В 1950 году Джон Форбс Нэш в своей диссертации по некооперативным играм первым доказал, что ситуации равновесия существуют для всех конечных игр с любым количеством участников, за что и получил нобелевскую премию по экономике в 1994 году.

Игра многих лиц в нормальной форме задается совокупностью

$$\Gamma = \langle A, S^a, u^a(s), a \in A \rangle.$$

Ситуация  $\bar{s} = (\bar{s}^a, a \in A)$  называется ситуацией равновесия (равновесием по Нэшу) игры  $\Gamma$ , если

$$\forall a \in A \max_{s^a \in S^a} u^a(\bar{s} \| s^a) = u^a(\bar{s}).$$

Выражение  $\bar{s} \| s^a$  обозначает ситуацию, в которой все компоненты, кроме игрока  $a$ , совпадают с компонентами ситуации  $\bar{s}$ , а стратегии игрока  $a$ , совпадают с компонентами ситуации  $\bar{s}$ , а стратегия игрока  $a$  есть  $s^a$ . Определение равновесия показывает, что стратегия  $\bar{s}^a$ , входящая в ситуацию  $\bar{s}$ , является оптимальной для игрока  $a$  при фиксированных стратегиях всех остальных игроков. Таким образом, можно

сказать, что равновесие по Нэшу – это такая ситуация, от которой ни одному из игроков невыгодно отклоняться индивидуально.

Равновесие Нэша – это устойчивое равновесие, потому что игрокам выгодно его сохранять, так как любое изменение ухудшит их положение. Но если в отношениях между игроками появляется сотрудничество, равновесие Нэша перестаёт быть равновесным, потому что появляется возможность достичь лучшего результата. Рассмотрим пример: допустим вы решили открыть кафе в парке, очевидно, что наиболее оптимальное положение для торговли — это середина парка, тогда всем клиентам с разных концов придется идти к вам одинаковое расстояние, и все хорошо до тех пор, пока не появляется конкурент. Ассортимент у вас одинаковый и вы решаете поделить парк на две половины, а значит поделить и всех клиентов поровну. В теории игр это положение называется социально оптимальным решением, так как оно удобно в первую очередь для большинства покупателей, но с точки зрения продавца это положение не оптимально, так как всегда остается соблазн занять более прибыльное положение в центре чтобы обслуживать как можно больше людей. Допустим на следующий день вы приходите в парк и занимаете свое вчерашнее положение, но ваш конкурент решил занять центральное положение. Так часто происходят в реальном бизнесе, когда у каждой конкурирующей стороны есть стремление занять более выгодное положение чем у конкурента. Предыдущее положение не было оптимальным с точки зрения прибыли, так как не было достигнуто равновесие Нэша и каждый продавец (игрок) будет стремиться занять более выгодное для себя положение. Теперь вы понимаете, что конкурент обслуживает 75 процентов территории, а вы всего лишь 25. Пытаясь выровнять свою ситуацию вы начинаете постепенно перемещаться в центр парка, заметив это ваш конкурент начинает двигаться навстречу вам чтобы процент его влияния продолжал увеличиваться, а ваш уменьшаться. Подобные перемещения будут происходить до тех пор, пока вы оба не окажетесь в центре парка, потому что именно здесь одинаковое расстояние до всех клиентов и вам просто нет смысла куда-либо перемещаться, теряя потенциальных покупателей. Это состояние, в котором каждый игрок не может увеличить свои шансы на победу и называется равновесие Нэша. Именно поэтому так популярны торговые центры где все находится в одном месте. Именно поэтому салоны сотовой связи аптеки и булочные открывают буквально двери в дверь. Равновесие Нэша нашло широкое применение в различных сферах бизнеса в экономике анализе социального взаимодействия людей, а также для объяснения различных явлений в политической теории.

На основании вышесказанного можно сделать вывод о том, что теория игр является одним из самых востребованных разделов математики, благодаря тому, что она может использоваться в самых различных сферах жизни. Равновесие Нэша является одним из самых ярких доказательств того, что в условиях сотрудничества и кооперации сторон можно достичь гораздо более эффективных и стабильных результатов, нежели в условиях коалиционных столкновений.

#### **Список литературы**

1. Воробьев Н.Н. Теория игр для экономистов-кибернетиков. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 272 с.

2. Васин А.А. , Морозов В.В. Теория игр и модели математической экономики. (учебное пособие). – М.: МАКС Пресс, 2005 г. – 272 с.
3. Карлин С. Математические методы в теории игр, программировании и экономике - М.: "Мир", 1964. , 835 с.
4. Диксит А. , Нейлбафф Б. Теория игр. Искусство стратегического мышления в бизнесе и жизни – М.: МАНН, 2021, 464 с.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ФУНКЦИИ КОББА-ДУГЛАСА**

**Роман Е.В.**

**Научный руководитель: Затенко С.И.**

*Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет*

*им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург*

*Аннотация. В статье рассмотрены две стороны производственной функции Кобба-Дугласа, функции, которая позволяет найти соотношение труда и капитала для создания блага в необходимом количестве: теоретическая и практическая. В данной работе для моделирования экономических процессов используется модифицированная функция Кобба-Дугласа, так как изначальная ее версия имеет ряд существенных недостатков. Модифицированная версия позволяет создавать более эффективные математические модели.*

*Ключевые слова: производственная функция, эластичность, экономико-технологическое развитие производства, факторы труда, прогнозирование.*

Производственный комплекс играет ключевую роль в экономике России. В настоящее время наблюдается значительный разрыв в уровне социально-экономического развития различных регионов РФ. Сокращение разрыва невозможно без современных методов экономико-математического моделирования. Функция Кобба-Дугласа - это один из методов оценки возможностей отрасли. В данный момент его развитие активно идет по двум направлениям: модификация функции путем насыщения дополнительными факторами и совершенствование подходов определения ее динамических параметров. Поэтому моделирование экономических процессов с использованием производственной функции является актуальной задачей.

Производственная функция - это функция, которая показывает зависимость объема выпуска товаров и услуг от количества факторов производства. Ее задачей является объяснение роста благосостояния общества в процессе производства экономических благ. Это происходит путем создания экономико-математических моделей, характеризующих зависимость объема производства от различных его факторов или их соотношение в условиях национальной экономики [2].

Существует две разновидности производственных функций:

- ✓ Однофакторные;
- ✓ Двухфакторные, именно к ним относится функция Кобба-Дугласа.

Рассмотрим более подробно особенности данной производственной функции.

В качестве двух основных факторов производства в ней выступают труд и капитал, определенное соотношение которых позволяет создать благо в необходимом количестве.

Впервые функция предложена Кнудом Викселлом. В 1928 году она была протестирована на статистических данных Чарльзом Коббом и Полом Дугласом в работе «Теория производства». В данной работе они попытались эмпирическим путем определить влияние различных объемов затраченного капитала и труда на объем произведенных благ в обрабатывающей промышленности США. Функция имела следующий вид:  $Q \sim L^{0,73} \cdot K^{0,27}$

Применение производственной функции, разработанной Коббом и Дугласом, позволило моделировать не только мелкомасштабные процессы, но и целые экономические отрасли. Статистическое подтверждение этой функции стало началом нового этапа макроэкономического развития, позволяющего оценивать эффективность производства на уровне национальной экономики.

Общий вид формулы:  $Q = A \cdot L^\alpha \cdot K^\beta$ , где:

Q – показатель объема производства, показывающий реальную стоимость товаров и услуг, произведенных в определенный период времени;

A – общий показатель технологической продуктивности факторов. Он является наиболее трудным для определения и предусматривает определенную погрешность;

L – затраты труда в производство определенного объема продукции, выражающиеся в количестве человеко-часов, отработанных всеми работниками за определенный период времени;

K – затраты вложенного капитала в производство определенного объема продукции, выражающиеся в реальной стоимости оборудования и машин, используемых в производстве;

$\alpha$  – технологическая эластичность труда;

$\beta$  – технологическая эластичность капитала.

Важнейшими показателя производственной функции Кобба-Дугласа являются показатели эластичности факторов производства, отражающие влияние изменения их соотношения на объем производства при прочих равных условиях.

Возможны три варианта значений, принимаемых коэффициентами эластичности в рамках формулы [3]:

1.  $\alpha + \beta = 1$ . Такое соотношение характеризует постоянную отдачу от масштаба;
2.  $\alpha + \beta > 1$ . Это соотношение характеризует возрастающую отдачу от масштаба;
3.  $\alpha + \beta$

В последнее время функция Кобба-Дугласа в первоначальном виде практически не используется на практике для прогнозирования экономического развития, поскольку плохо описывает реальность из-за определенных ошибок, к которым относятся: использование затрат и результатов, относящихся к разным временным периодам и неправильное разделение переменных после определения числового значения степени. Самым существенным недостатком производственных функций является то, что их вывод осуществляется только на основе статистических данных о прошлом при отсутствии какого-либо объяснения происходящих процессов в сфере производства.

В настоящее время разработаны улучшенные модели функции Кобба-Дугласа.

Одну из таких модификаций сделал Дж. Тинберген. Он убрал ограничение, согласно которому сумма коэффициентов эластичности должна равняться единице. Его производственная функция выглядит следующим образом:

$$Q = A \cdot L^\alpha \cdot K^\alpha$$

Следующую модификацию провел А.И. Анчишкин. Он разложил показатель НТП на две составляющие: независимый научно-технический прогресс ( $\lambda$ ) и научно-технический прогресс, связанный с характером распределения продукта ( $\nu$ ). Его производственная функция имеет вид

$$Q = A \cdot L^\beta \cdot L^{1-\beta} \cdot e^{\lambda+\nu}$$

С.М. Вишнев модифицировал производственную функцию, включив в состав факторов квалификацию рабочих, затраты, связанные с наукой, срок службы основного капитала.

Е.Н. Кузбожев предложил модель, учитывающую социальные факторы. Она выглядит так:

$$Q = A \cdot L^\alpha \cdot K^\alpha \cdot e^{(a_1z_1+a_2z_2+a_3z_3)}$$

где  $A$  – показатель, который характеризует уровень социального развития трудового коллектива;

$L^\alpha$  – показатель, который характеризует технический уровень соответствующей производственной системы;

$L$  – показатель, который характеризует уровень обеспеченности коммуникационными системами соответствующей производственной системы;

$z$  – числовые коэффициенты.

Упомянутые модификации не единственные. Их много, и общую идеальную производственную функцию составить сложно, этот вопрос не решен окончательно.

Рассмотрим применение функции Кобба-Дугласа на практике при решении экономических задач.

Условие первой задачи: по данным, представленным в таблице, построить производственную функцию типа Кобба-Дугласа. Сделать прогноз выпуска отрасли в 2000 году, если планируется увеличить основные фонды на 20% и при этом сократить трудовые ресурсы на 5% по сравнению с предыдущим годом.

Год	Объем производства $Y$ , млн ден. ед.	Объем производства $Y$ , млн ден. ед.	Трудовые ресурсы $L$ , тыс. человек
1993	431	650	91
1994	440	710	93
1995	462	773	94
1996	482	836	95
1997	503	888	95
1998	510	890	95
1999	531	913	96



Параметры  $A$ ,  $\alpha$ , входящие в функцию Кобба-Дугласа  $= A \cdot K^\alpha \cdot L^{\alpha-1}$ , найдем методом наименьших квадратов по данным этой таблицы. Если обозначить

$$y = \log_{10} \left( \frac{Y}{L} \right); x = \log_{10} \left( \frac{K}{L} \right); c = \log_{10}(A)$$

то функцию Кобба-Дугласа можно переписать в логарифмах в линейном виде

$$\log_{10} \left( \frac{Y}{L} \right) = \log_{10}(A) + \alpha \log_{10} \left( \frac{K}{L} \right)$$

или  $y = c + \alpha x$

Коэффициенты регрессии  $c$ ,  $\alpha$  в полученной линейной зависимости находим по следующим формулам:

$$\alpha = \frac{n \sum (x_i y_i) - (\sum x_i)(\sum y_i)}{n \sum (x_i^2) - (\sum x_i)^2}$$

$$c = \frac{1}{n} \sum (y_i) - \alpha \cdot \frac{1}{n} \sum (x_i)$$

Здесь данные по  $x_i$ ,  $y_i$ , вводятся из таблицы ниже:

Год	$y = \log_{10} \left( \frac{Y}{L} \right)$	$x = \log_{10} \left( \frac{K}{L} \right)$
1993	1,56	1,97
1994	1,55	2,03
1995	1,59	2,11
1996	1,62	2,17
1997	1,67	2,24
1998	1,68	2,24
1999	1,71	2,25

Составим расчетную таблицу:

Год	y	x	yx	x <sup>2</sup>
1993	1,56	1,97	3,06	3,87
1994	1,55	2,03	3,16	4,13
1995	1,59	2,11	3,35	4,44
1996	1,62	2,17	3,53	4,73
1997	1,67	2,24	3,73	5,00
1998	1,68	2,24	3,76	5,01
1999	1,71	2,25	3,85	5,07

N=7	11,38	15,01	24,44	32,24
сумма				

$$\alpha = \frac{7 \cdot 24,44 - 11,38 \cdot 15,01}{7 \cdot 32,24 - 15,01^2} \approx 0,529$$

$$c = \frac{1}{7} \cdot 11,38 - 0,529 \cdot \frac{1}{7} \cdot 15,01 \approx 0,493$$

$$A = e^c = e^{0,493} \approx 1,637$$

Функция Кобба-Дугласа имеет вид:

$$Y \approx 1,637 \cdot K^{0,529} \cdot L^{1-0,529} = 1,637 \cdot K^{0,529} \cdot L^{0,471}$$

Сделаем прогноз объема производства отрасли на 2000 год. Новые значения:  $K = 913 \cdot 1,2 = 1095,6$ ;  $L = 96 \cdot 0,95 = 91,2$ , тогда прогноз объема производства:

$$Y_{2000} \approx 1,801 \cdot 1095,6^{0,502} \cdot 91,2^{0,498} \approx 555,747$$

Ответ:  $Y \approx 1,637 \cdot K^{0,529} \cdot L^{1-0,529} = 1,637 \cdot K^{0,529} \cdot L^{0,471}; 555,747$

Условие второй задачи: найти объем продукции, произведенной за период  $[0; T]$ , при условии, что функция Кобба-Дугласа имеет вид:

$$f(t) = (\alpha + \beta t)e^{\gamma t}$$

$$\beta = n; \alpha = \beta n; T = N; \gamma = \frac{T}{2}$$

По условию  $n = 7, N = 52$ , тогда  $\beta = 7; \alpha = 364; T = 52; \gamma = \frac{1}{104}$

$$f(t) = (364 + 7t)e^{\frac{1}{104}t}$$

Составляем интеграл

$$q = \int_0^{52} (364 + 7t)e^{\frac{1}{104}t} dt,$$

который при заданной функции Кобба-Дугласа описывает объем продукции, выпущенной за период  $[0; T] = [0; 52]$

Для вычисления интеграла воспользуемся методом интегрирования по частям:

$$\begin{aligned} q &= \int_0^{52} (364 + 7t)e^{\frac{1}{104}t} dt = \left| \begin{array}{l} u = 364 + 7t \\ du = (364 + 7t)' dt = 7dt \\ dv = e^{\frac{1}{104}t} dt \\ v = \int e^{\frac{1}{104}t} dt = 104e^{\frac{1}{104}t} \end{array} \right| = \\ &= \int_0^{52} 104e^{\frac{1}{104}t} (364 + 7t) dt - \int_0^{52} 7 \cdot 104^2 e^{\frac{1}{104}t} dt = \\ &= \int_0^{52} 104e^{\frac{1}{104}t} (364 + 7t - 7 \cdot 104) dt = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 104e^{\frac{1}{104} \cdot 52} (364 + 7 \cdot 52 - 728) - 104e^0 (364 - 7 \cdot 104) = \\ &= -104 \cdot (-364) = 37856 \end{aligned}$$

Ответ:  $q=37856$

Таким образом, используя производственную функцию Кобба-Дугласа, был сделан прогноз объема производства отрасли на 2000 год в первой задаче и найден объем продукции, произведенной за определенный период во второй задаче. В наши дни ПФКБ практически не используют в первоначальном виде, так как она дает не точный результат, но часто применяют модифицированные функции, которые позволяют делать более качественный прогноз

#### Список литературы

1. Глазьев С. Ю. Теория долгосрочного технико-экономического развития. – М. : ВладДар, 1993.
2. Горбунов В.К. Производственные функции: теория и построение. –Ульяновский государственный университет, 2013. – С.8–18.
3. Евченко А.В. Использование производственных функций в прогнозных расчетах роста экономики // Экономика и управление. 2006. № 1. С. 37–41

### ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ В СФЕРЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

Султанов А. Т. Валитов А. Р.

Научный руководитель: Сулейменова Р.Д.

*Оренбургский государственный аграрный университет, Оренбург*

*Аннотация.* В данной статье представлено построение математической модели расчета рисков в процессе развития учебного заведения. В результате проведенного исследования нами были сформированы и выявлены главные характеристики конкурентоспособности в сфере высшего образования. Риски развития, которые преследуют высшие учебные образовательные учреждения, разъясняются как скалярная задача дивергенции, обусловленная с помощью использования аппарата векторного анализа.

*Ключевые слова:* конкурентоспособность вузов, риски развития вуза, математическая модель рисков, дивергенция, векторная функция.

В нынешней литературе конкурентоспособность вузов связывают с успехом, прочностью, качеством и компетентностью. Существует огромное количество интерпретаций этого определения.

В работах, Р.А. Фахрутдинова «конкурентная борьба – это процедура управления субъектом собственными конкурентоспособными достоинствами в определенном рынке с целью удержания победы либо свершения иных целей в борьбе со соперниками из-за удовлетворения объективных либо субъективных потребностей в рамках законодательства или в естественных условиях» [1 с. 153].

Й. Шумпетер внедрил в современную науку представление «инновации», также

он считал, что основа конкурентной борьбы – «новые комбинации, которые прокладывают себе путь, побеждая в конкуренции со старыми»[2]. В действительности, в данный момент открылось множество частных вузов, которые с легкостью конкурируют с государственными институтами и вузами, так как они внедряют новые специальности, которые более актуальны, в нынешнее время.

Развитие конкуренции возможно только если присутствуют иные высшие учебные заведения – в степени мегаполиса (района), примыкающих регионов, а также федеральных (интернациональных) учебно - просветительских учреждений, что делает возможным убывание выпускников – возможных учеников.

В ходе исследования, были отмечены следующие моменты: видна точная трудность конкурентной борьбы высших учебных заведений на уровне региона, если проследивать динамику по какой-нибудь одной либо смежным специальностям, по которым производится подготовка в нескольких образовательных организациях.

Учитывая все без исключения элементы конкурентоспособности, нами взята в качестве интегрального фактора ориентированность образовательных услуг. Конкурентоспособность для вузов - это рыночные отношения, когда университет становится производителем будущего рынка труда, развития производственной деятельности и технологического прогресса.

Одним из характеризующих условий конкурентоспособности университета становится его умение регулярно и целенаправленно гарантировать поступление абитуриентов - потребителей предоставляемых образовательных услуг.

Значимым условием считается востребованность профессионалов, как главная составляющая деятельности вуза, непосредственно: сокращение доли бюджетного финансирования, недофинансирование, снижение размера исполняемых хоздоговорных экспериментальных работ, потребность покупок дорогого вещественно-технологического обеспечения.

Специфику деятельности вузов можно рассматривать в пространстве трех переменных:  $x$  – количество возможных абитуриентов;  $y$  – величина выпуска, затребованных рынком труда;  $z$  – доля бюджетных средств на реализацию образовательных программ.

Эмпирически, всякая активность университета, также в особенности инновационная, обязана в той или иной мере давать прирост абитуриентов и выпускников, также по притоку финансовых средств. Проанализируем трехмерную систему координат, положив по оси  $x$  - количество абитуриентов; по оси  $y$  - количество трудоустроенных выпускников; по оси  $z$  - количество бюджетных средств.

В таком случае рассмотрим деятельность вуза в системе трех координат, что интерпретируется координатами трехмерного вектора:

$$\vec{F}(\alpha, \beta, \gamma) = \alpha \vec{i} + \beta \vec{j} + \gamma \vec{k}.$$

При этом прирост по каждой переменной может быть различным, следовательно, координаты вектора зависят от точки приложения:

$$\alpha = O(x, y, z), \beta = G(x, y, z), \gamma = E(x, y, z).$$

Что позволяет рассмотреть векторную функцию:

$$\vec{F}(x, y, z) = O(x, y, z) \vec{i} + G(x, y, z) \vec{j} + E(x, y, z) \vec{k},$$

характеризующую некоторый вид деятельности вуза. [3]

$O(x,y,z)$  – прирост абитуриентов в результате рассматриваемой деятельности;

$G(x,y,z)$ - прирост количества трудоустроенных выпускников;

$E(x,y,z)$ - прирост бюджетных средств вуза.

Если значения сведений функций схожи с прогнозными, в таком случае обладаем исключительным инцидентом абсолютного соответствия целей, а также итогов. В практике допустимо анализировать не только ожидаемые определенные значения, но также и допустимые интервалы значений каждой из функций, присутствует отклонение от ожидаемых значений.

Делая упор на исследование А.А. Новакова, который определяет риск как «возможность несовпадения показателя в горизонте прогноза с неким заблаговременно планируемыми, которые просчитываются значением» отклонение от прогнозных значений в наименьшую, либо наибольшую сторону можно трактовать как риски [4].

Любой из предусмотренных уставом университета видов образовательных процессов может интерпретироваться как векторная функция либо векторное поле.

Заметим, что составление плана потребует установления целевых характеристик, возможно анализировать также некоторую функцию, интегрально представляющую образовательную активность университета, также, в соответствии с этим, подразумевать присутствие векторного поля развития университета в целом [5].

Проанализируем точку  $L$ , координаты которой  $x$  - число учеников в данный период времени;  $y$  - текущее число трудоустроенных по специальности выпускников;  $z$  количество бюджетных средств в текущую дату. Безусловно, значения данных переменных обязаны относиться к определенным промежуткам.

Таким образом, количество абитуриентов ограничено наименьшим нулевым значением и наибольшим в соответствии с планом приема; число трудоустроенных выпускников не может превышать число учащихся вуза, включенных в распоряжение об выпуске; финансовые доходы из бюджета также регламентированы. Отметим в качестве области  $N$  часть пространства, ограниченную по осям исходными интервалами [6].

Известно, что в каждой точке  $L(x,y,z)$  области  $N$  задано векторное поле

$\vec{F}(x,y,z) = O(x,y,z)\vec{i} + G(x,y,z)\vec{j} + E(x,y,z)\vec{k}$ , составляющие которого  $O$ ,  $G$ ,  $E$  дифференцируемы в этих точках, то можем ввести скалярную функцию дивергенции, которая имеет вид

$$\operatorname{div}\vec{F} = \frac{dO}{dx} + \frac{dG}{dy} + \frac{dE}{dz}$$

Предоставленная функция, в нашем представлении, демонстрирует риски реализации образовательной либо другой деятельности университета.

Применяя средства математического анализа, векторному полю  $\vec{F}(x,y,z)$  (образовательной деятельности вуза) в некоторой области  $N$  поставим в соответствие скалярное поле  $\operatorname{div}\vec{F}(x,y,z)$  [7].

Функция дивергенции поля  $\vec{F}(x,y,z)$  в любых взятых точках области  $N$  (при конкретных значениях  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) демонстрирует текущие риски применительно к данному моменту времени. Для вычисления суммарной дивергенции (суммарных рисков) по

всей области  $N$  применяется тройной интеграл:

$$\iiint_{(N)} \operatorname{div} \vec{F}(x, y, z) dx dy dz$$

Таким образом, предлагаемая модель может быть применена с целью оценки суммарных рисков университета в контексте бюджетного финансирования, динамики поступающих, востребованности выпускников работодателями с учетом общих реализуемых направлений учебной, исследовательской также инновационной работы образовательного учреждения.

#### Список литературы

1. Фахрутдинова Р. А. Стратегический маркетинг: учебник для вузов. – 3-е изд – СПб.: Питер, 2003. – 347 с.
2. Шумпетер Й.А. Теория экономического развития издание / Й.А. Шумпетер – М.: Директ-Медиа, 2007. – 400 с.
3. Сулейменова Р.Д., Левченко Д.В., Математическое моделирование рисков развития вузов // Научно-технический вестник Поволжья – 2019 - №7 – 140-142 с.
4. Новаков А.А. Концепция векторного представления риска в современной вариативной экономике // Управление экономическими системами: электронный научный журнал. – 2011. - № 10. – 38 с.
5. Пантелеев А.В. Математический анализ. / А.В Пантелеев, Н.И. Савостьянова, Н. М. Федорова – М.: ИНФРА-М, 2021. – 502 с.
6. Самарский А. А. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры. / А. А. Самарский, А.П. Михайлов – М.: Физматлит, 2001. – 320 с.
7. Мышкис А. Д. Элементы теории математических моделей. – М.: Ленанд, 2019. – 304 с.

## ДИСКОНТИРОВАНИЕ И ПРИНЯТИЕ ИНВЕСТИЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ

Туряева А.С.

Научный руководитель: Затенко С.И.

*Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург*

*Аннотация.* В статье рассматривается процесс дисконтирования, на основании которого инвестор принимает решение о выгодном распоряжении своим капиталом. Дисконтирование является базой для расчета стоимости денег с учетом фактора времени. В данной статье рассматриваются математические методы определения текущей и будущей стоимости денег с учетом временного промежутка и ставки дисконтирования.

*Ключевые слова:* инвестиции, дисконтирование, доход, капитал, ставка дисконтирования, дисконтированная стоимость, капитальные вложения.

*Актуальность.* Инвестиционные процессы являются одними из главных составляющих общественного производства. Без них неосуществимо воспроизводство. Средства труда нуждаются в регулярной замене, необходимо увеличивать мощность производства, что позволяет сохранять жизнь населения на достойном уровне. Процесс

инвестирования можно рассматривать как для общественного воспроизводства, так и для отдельного предприятия. [3]

При анализе рынка инвестиций, одним из ключевых аспектов является временной промежуток, в который будут вложены денежные средства (месяц, год, 10 лет).

При контроле фактора времени необходимо анализировать базовые показатели: выручка, прибыль, общий денежный поток, расходы и др.

Разница при оценки денежных средств в различные промежутки времени может зависеть от:

- Индекса потребительских цен
- Возможность реинвестирования в будущем
- Повышенный риск (уровень риска возрастает при увеличении срока вложения денежных средств) и др.

Дисконтирование – это оценка будущей стоимости капитала с точки зрения сегодняшней стоимости. Современная величина суммы денег является из важнейших понятий в количественном анализе финансовых операций.[1]

$$PV = \sum_{i=1}^n \frac{FV}{(1+r)^t}$$

PV – текущая стоимость (нынешняя ценность будущей бумаги)

FV – будущая ценность бумаги на настоящий момент (будущий доход)

r – процентная ставка

t – количество лет (срок инвестирования)

Для того чтобы оценить какой доход принесет инвестиция, необходимо сравнить сколько стоит капитал в настоящий момент и стоимость будущих поступлений. Для этого можно воспользоваться формулой для расчёта дисконтированной стоимости.

$$NPV = PV (TR - VC) - PV (I),$$

где NPV (чистая текущая ценность) – показывает, какой чистый денежный «плюс» получит инвестор, вкладывая капитал именно в этот проект

(TR – VC) – чистый доход;

I – инвестиции.

Самым лучшим вариантом для инвестиции происходит при обращении чистой текущей ценности (NPV) инвестиционного проекта в ноль, а проект для инвестирования стоит рассматривать, только при  $NPV > 0$ . [2]

Для наглядности рассмотрим пример.

Организация «КОМТОРГ» предлагает арендовать бизнес-центр у А.С. Иванова в количестве 780 м. кв. по рыночной цене 500 руб. за 1 м. кв. в месяц, сроком на 1 год.

При этом организация выставляет удобные для себя периоды оплаты и размер аренды. разовый платеж в сумме 50 000 руб., затем,

в конце 3-го, 4-го и 5-го месяцев платежи в размере 390 000руб.,

в начале 6-го, 7-го и 8-го месяцев –390 000 руб. и

в конце 12-го месяца – внесение последнего платежа в сумме 2 290 000 руб.

В тоже время А.С. Иванов может сдать в аренду бизнес-центр компании «РосТорг» с фиксированной ежемесячной платой в размере 390 000 руб.

Необходимо проанализировать предложенную схему выплат арендаторами. Сделать вывод о рациональности сдачи в аренду бизнес-центра. Учитывая, что ставка дисконтирования установлена в размере 10%.

Решение:

Ежемесячно от аренды бизнес-центра можно получить:

$$780 \times 500 = 390\,000. \text{ (в конце каждого месяца)}$$

В разные промежутки времени деньги имеют разную стоимость. Соответственно, без анализа всех данных нельзя сказать о точном доходе за год, умножив данную сумму на 12 месяцев.

Для того, чтобы выбрать самый выгодный вариант (сдать бизнес-центр на условиях компании «КОМТОРГ» или компании с ежемесячными выплатами) необходимо привести стоимость платежей в разные промежутки времени, к стоимости в настоящий момент.

Текущую стоимость можно рассчитать по общей формуле:

$$\sum_{n=1}^n \frac{FV}{(1+r)^t}$$

Рассмотрим схему, предложенную компанией «КОМТОРГ», найдя сумму платежей.

Разовый платёж в размере 50 000 рублей будет внесен в конце первого месяца и далее по схеме:

$$P = \frac{50\,000}{(1+0,1)^1} + \frac{390\,000}{(1+0,1)^3} + \frac{390\,000}{(1+0,1)^4} + \frac{390\,000}{(1+0,1)^5} + \frac{390\,000}{(1+0,1)^6} + \frac{390\,000}{(1+0,1)^7} + \frac{390\,000}{(1+0,1)^8} + \frac{2\,290\,000}{(1+0,1)^{12}} = 2\,178\,882,49$$

Найдём **стоимость регулярного финансового потока**. Рассмотрим вариант получения дохода от капитала (бизнес-центр) при сдаче помещения с фиксированной ежемесячной выплатой.

$$P = \sum_{t=1}^{12} \frac{390\,000}{(1+0,1)^t} = \frac{390\,000}{1,1^1} + \frac{390\,000}{1,1^2} + \frac{390\,000}{1,1^3} + \dots + \frac{390\,000}{1,1^{11}} + \frac{390\,000}{1,1^{12}} = 4\,680\,000$$

$$4\,680\,000 > 2\,178\,882,5$$

Таким образом, предложенная схема выплат арендатором «КОМТОРГ» для владельца недвижимости А.С. Иванова не выгодна. Бизнес-центр рационально сдать в аренду компании «РосТорг».

Дисконтирование применяется не только при оценке целесообразности вложения средств в инвестиционные проекты. Этот метод применяется при оценке различных вариантов времени внесения арендной платы, платы за обучение в вузе, получения денежных средств по завещанию и т.д. Процедура дисконтирования помогает хозяйствующим субъектам осуществить рациональный экономический выбор.

#### Список литературы

1. Инвестиции: учебник для вузов / под ред. Л.И. Юзвович, С.А. Дегтярева, Е.Г. Князевой. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2016. – 543 с.
2. Инвестиции: учебник и практикум для академического бакалавриата / В. Е. Леонтьев, В. В. Бочаров, Н. П. Радковская. — М.: Издательство Юрайт, 2017. — 455 с. — Серия: Бакалавр. Академический курс.
3. Инвестиции: учебник / Т. В. Теплова — М.: Издательство Юрайт ; ИД Юрайт, 2011. — 724 с.



*Секция 5. Математические методы в медицине, биотехнологии и экологии*

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В РЕШЕНИИ ПРИКЛАДНЫХ  
ЗАДАЧ ТИПА «ХИЩНИК-ЖЕРТВА»**

**Воеводина П.А.**

**Научный руководитель: Нечаевский М.Л.**

**Самарский национальный исследовательский университет  
им. академика С.П.Королёва, Самара**

***Аннотация:** Изучены основы математического моделирования и его использование в роли научного метода исследования. Доказана применимость видоизмененной математической модели, а также её эффективность и точность. Приведены результаты исследований, включающие разработку модели клеточного автомата, реализованной средствами VBA в Excel, созданной для решения конкретной сегодняшней задачи: как урегулировать численность хищников и травоядных на ограниченной территории.*

***Ключевые слова:** экология, моделирование, математика, модель, Самарская область, экологические системы, модель автомата.*

Математическое моделирование экологических процессов является мощным инструментом для измерения качественных и количественных изменений характеристик окружающей среды под воздействием различных факторов.

В математическую модель закладываются биологические представления, гипотезы о кинетических свойствах процессов (скоростях роста, размножения, гибели, интенсивностях взаимодействия). Синтезируя эту информацию, модель позволяет изучить качественно и количественно пространственно-временную структуру, формирующуюся в реальной или гипотетической системе, вскрыть причинно-следственные связи. При вводе необходимых сведений в математическую модель, есть возможность предсказать результаты при внешних воздействиях на изучаемые явления. Преимущества математических моделей определяются способностью делать предсказания, которые можно сравнить с реальными данными, проведя эксперимент, или сделав необходимые наблюдения.

Целью моделирования, является принятие необходимых управленческих решений. Подходы к моделированию экологических проблем многочисленны. Важным является доказательство того, что метод математического моделирования – средство изучения и прогнозирования природных процессов.

Для реализации данной модели и проведения эксперимента было выбрано компьютерное моделирование. В основу взята модель «Хищник-жертва», так как она является самой эффективной для решения прикладных биологических и экологических задач, а также рассмотрение данного зоологического вопроса требует особого внимания.

Модель клеточного автомата, реализованная средствами VBA в Excel (с использованием модуля), построена на основе модели «Хищник-жертва» и метода

Монте-Карло. У ячеек может быть три состояния: пустая (без цвета), травоядное (зеленый цвет клетки), хищник (красный цвет клетки).

Изменение системы может характеризоваться следующим:

- особь может переместиться на любую клетку, с которой имеет общую сторону. Движение выбирается случайно, с помощью команды `randome`.
- особь может оставить потомство в той клетке, из которой она переместилась. Потомство появляется периодически, период является параметром.
- если особь является «хищной», то она может поглотить свою жертву, при этом перемещаясь на место жертвы.
- особь живет ограниченное количество времени, этот параметр-время жизни особи.
- если «хищник» не находит себе пищи в течение определенного времени (времени голодной смерти - параметра), то она погибает.

Для запуска программы необходимо нажать зеленую кнопку. Предварительно вы можете изменить параметры в желтых ячейках.

В качестве доказательства работы и оценки видоизмененной модели «Хищник-Жертва», были проведены расчеты по статистическим данным 2013 года, прогнозируемые на 2020-2021 год в Самарской области. После введения параметров, по данным ГКУ СО «Самарские лесничества» получаем результат схожий со статистическими данными, полученными с помощью наблюдений.

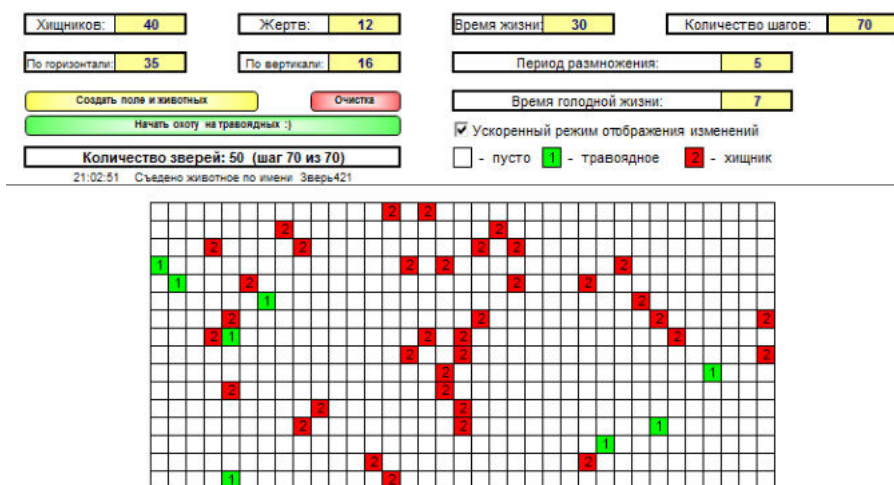


Рисунок 1. Модель клеточного автомата, построенная на статистических данных.

На текущий момент в Самарской области численность хищников очень велика, зайцев незначительно больше. Ежегодно только подсчитанный ущерб сельхозпроизводителям от хищника составляет около ста тысяч руб. А самое негативное - это распространение бешенства, что создает угрозу жизни людей. Ежегодная добыча хищников составляет примерно три тысячи голов в год, а для природного баланса необходимо добывать примерно в два раза больше. Поэтому одно из регулярно действующих антропогенных факторов на количество волков - охота. Рассматривая данные расчета математической модели, можно сделать выводы:

1. В 2025 году популяция зайца восстановится, и тогда можно будет увеличить добычу зайцев охотниками.

2. Как следствие, к 2030 году количество волков также придет к норме.

Созданная модель используется для решения конкретной сегодняшней задачи: как урегулировать численность хищников и травоядных на территории Самарской области, т.е. какие антропологические нагрузки допустимы и численность какого вида требуется контролировать в первую очередь.

Список литературы.

1. Берешко И. Н., Бетин А. В. Математические модели в экологии Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт» 2006 – 70 с.
2. Романов М. Ф., Федоров М. П. Математические модели в экологии. — СПб: Иван Федоров, 2003. — 240 с.
3. Виленкин Б.Я. Взаимодействующие популяции. Математическое моделирование в экологии. М.: Наука, 1978.
4. Медоуз Д.Х., Медоуз Д.Л., Рандерс Й. За пределами роста. М.: 1994.

## СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ АЗОТА И ФОСФОРА В ВОДАХ ФИНСКОГО ЗАЛИВА НА РЫБНУЮ ЧАСТЬ ЭКОСИСТЕМЫ

Кази И.М.

Научный руководитель Осечкина Т.А.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет

им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

*Аннотация.* В статье приводятся результаты регрессионного анализа зависимости биоресурсов Финского залива от содержания фосфора и азота в воде. По данным наблюдений за распределением, численностью и воспроизводством водных биологических ресурсов, а так же по данным мониторинга экологической ситуации Финского залива за 2001-2019 годы, проведен корреляционный анализ взаимозависимости основных видов рыб Финского залива и уровнем содержания химических элементов в воде. Предложено объяснение полученным статистическим зависимостям.

*Ключевые слова:* экология, биомасса, корреляция, регрессионный анализ.

Водные биологические ресурсы Балтийского моря всегда были востребованными для рыбопромышленного комплекса и имели большое значение в экономике прибалтийских стран, что обуславливалось близостью промысловых районов и береговых предприятий переработки и сбыта продукции, а также возможность круглогодичного лова рыбы.

Восточная часть Финского залива (российская акватория) относится к наиболее богатым рыбопродуктивным промысловым районам Балтийского моря. Рыбная часть сообщества этого района складывается морскими, пресноводными и проходными видами.

Финский залив находится в Балтийском море и является его восточной частью с размерами акватории в 29500 км<sup>2</sup>. Он вытянулся с востока на запад, общей протяженностью 380 километров. Наибольшая зафиксированная ширина составила 129,9 километров.

Научно-исследовательские работы в восточной части Финского залива Балтийского моря включают в себя систему регулярных наблюдений за

распределением, численностью и воспроизводством водных биологических ресурсов (ВБР) и средой их обитания, а также за рыболовством и сохранением ВБР.

В настоящее время промысловая и антропогенная нагрузка на этот район, в первую очередь гидротехнические работы (добыча нерудных материалов, дноуглубление, намыв территорий, свалки грунта и др.), является чрезмерно высокой. В связи с этим наблюдается перестройка всей экосистемы, в том числе и рыбной части сообщества. На состояние рыбных запасов, кроме антропогенных факторов, оказывают влияние циклически изменяющиеся природные факторы [3].

В Финском заливе водится 37 видов рыб 16 семейств, а также миноги. Природная функция акватории — нерестилище и пастбище для молодняка, она является естественным питомником рыбы благодаря обширным мелководным участкам, которые хорошо прогреваются и богаты растительностью. Происходит бурный рост цианобактерий, т.е. сине-зеленых водорослей. Используя энергию солнечного света, эти организмы из углекислого газа и воды производят органическое вещество. Кроме углерода, кислорода и водорода им нужны еще некоторые элементы, в частности азот и фосфор. В верхних слоях воды накапливается излишняя концентрация биоактивных веществ, что способствует развитию фито- и зоопланктона. [4].

Ядро рыбного населения составляют 5 основных видов: лещ, судак, окунь, плотва, ерш и др. [1].

В своей работе, при помощи регрессионно-корреляционного анализа – метода по изучению статистической зависимости между случайными величинами, при которых динамика одной случайной величины приводит к динамике математического ожидания другой, найдем связь между количеством биомассы определенного вида рыб и наличием важнейших химических элементов: азота и фосфора.

Описываемый вид статистической обработки данных может осуществляться с помощью программного обеспечения MS Excel. Корреляционный анализ в Excel был выполнен с использованием статистической функции КОРРЕЛ. С помощью указанной функции вычисляется линейный коэффициент корреляции, который также называется коэффициентом корреляции Пирсона, определяющий силу линейной взаимосвязи между исследуемыми факторами.

Соответствующие вычисления мы провели для основных видов рыб и хим. элементов. Результаты корреляционного анализа представлены в таблице 1.

Таблица 1. Корреляционный анализ связи биомассы рыб Финского залива и наличием химических элементов (азота и фосфора).

виды рыб Финского залива	коэффициент корреляции	
	фосфор (P)	азот (N)
ерш	-0,365417751	-0,562727381
лещ	-0,685754688	-0,902797212
плотва	-0,708703329	-0,829575181
окунь	0,489948924	0,587589142
судак	0,471224005	0,469251284

При доверительной вероятности 0,95 ( $\gamma = 0,95$ ) и числа степеней свободы  $n-2=17$  критическое значение коэффициента корреляции равно 0,46 ( $r_{кр}=0,46$ ). Это значит, что во всех случаях, когда модуль коэффициента корреляции больше 0,46, соответствующие факторы связаны значимой линейной зависимостью. Коэффициент корреляции может быть как положительным, так и отрицательным, что говорит о разной направленности взаимосвязи.

Наглядно направленность зависимости популяции того или иного вида рыб от содержания азота или фосфора в воде отображают линейные диаграммы. (Графическое

отображение корреляционного анализа в Excel производится с помощью панели «Диаграммы» с выбором «Точечная диаграмма»).

Можно заметить, что фосфор благоприятно влияет на популяцию судака.

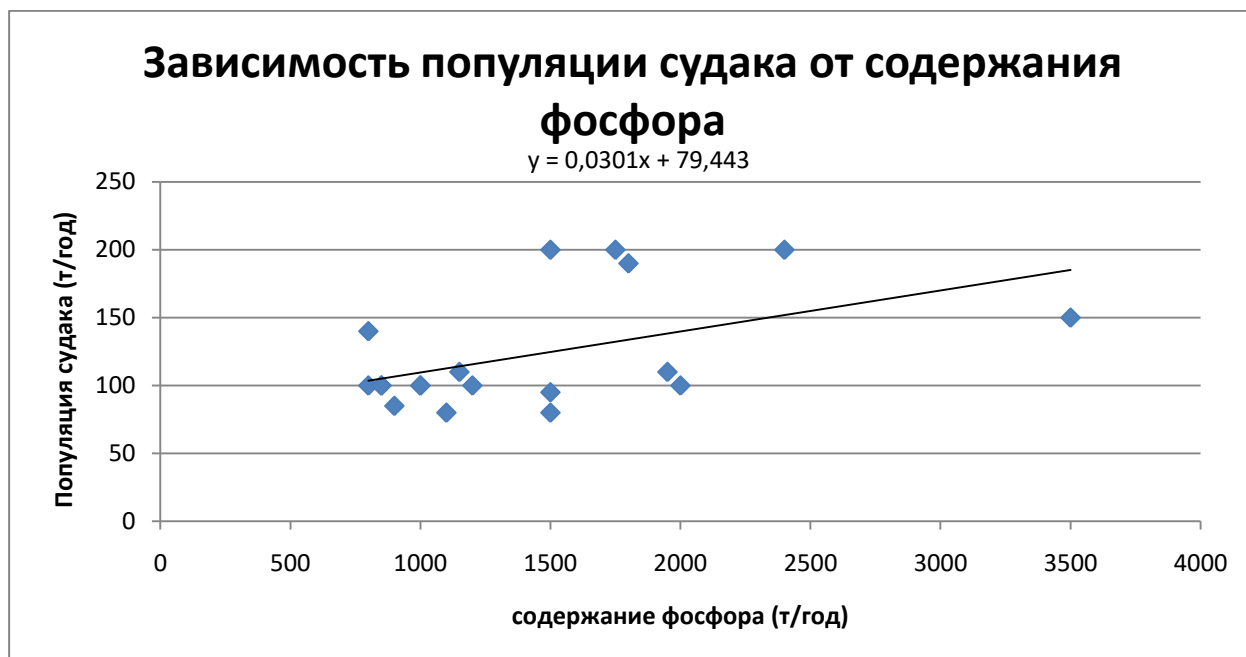
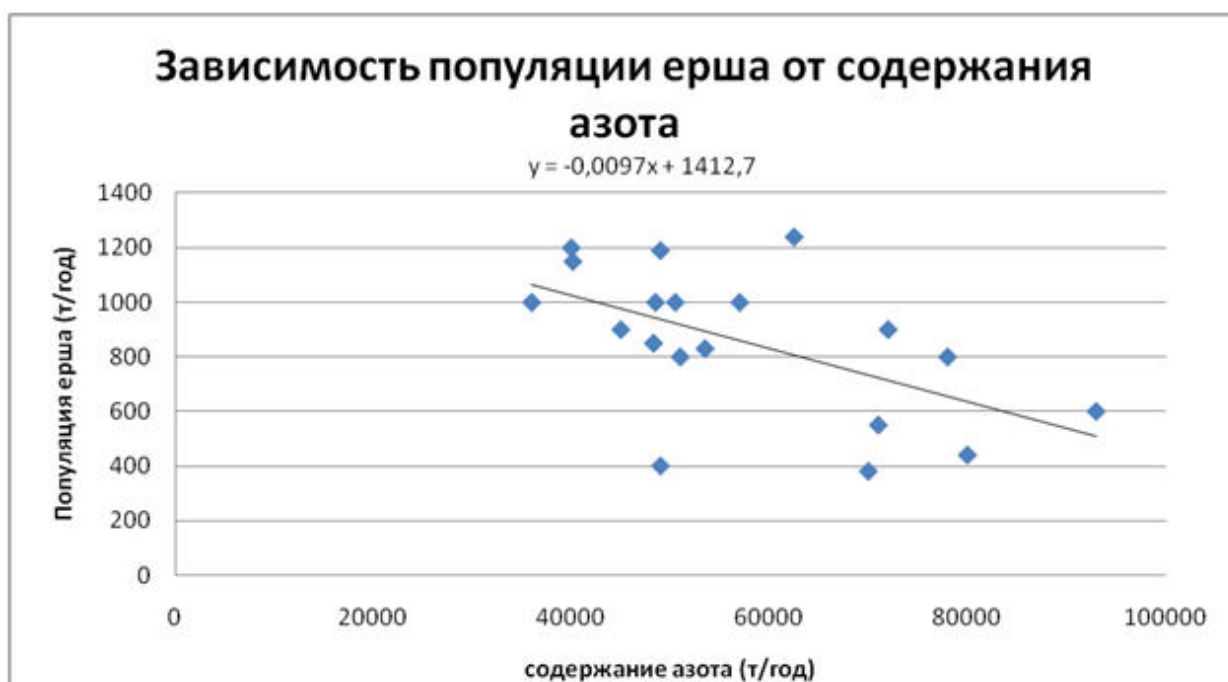


Рисунок 1. Зависимость биомассы судака от содержания Р (фосфора) в воде.

Но, при этом, увеличение содержания азота ведет к уменьшению популяции



ерша.

Рисунок 2. Зависимость биомассы ершей от содержания N (азота) в воде.

Следует отметить, что содержание фосфора и азота также неблагоприятно влияют на популяцию лещей и плотвы.

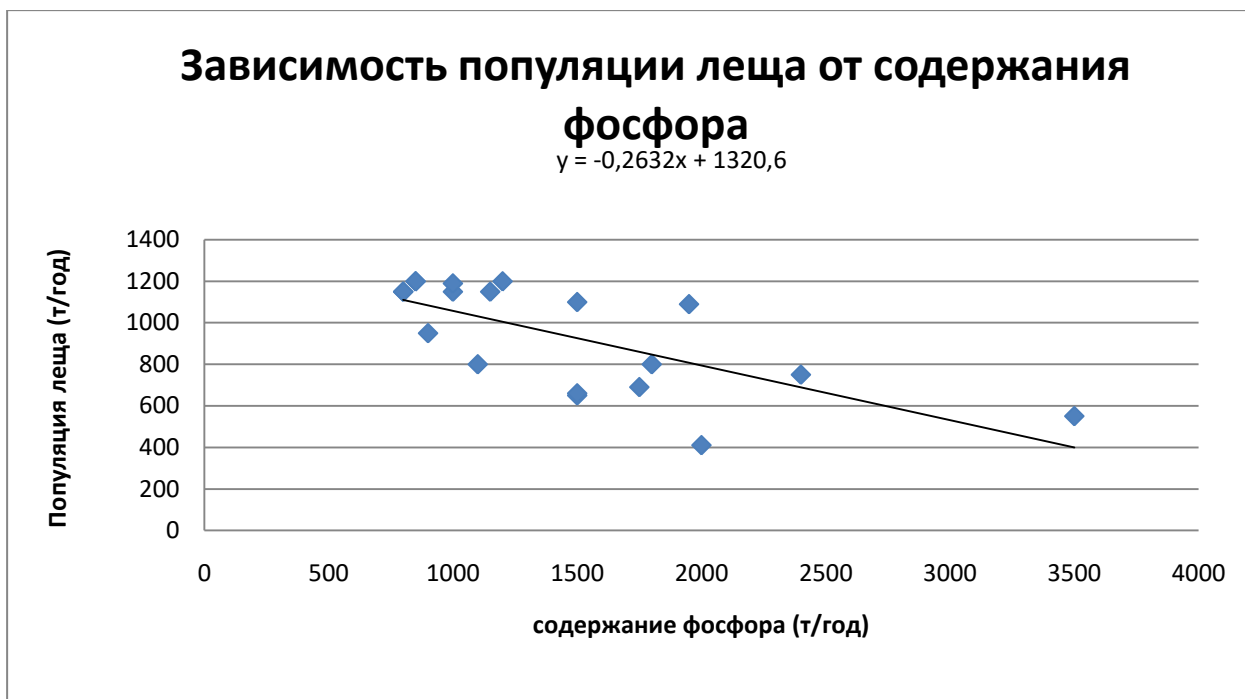


Рисунок 3. Зависимость биомассы леща от содержания Р (фосфора) в воде.

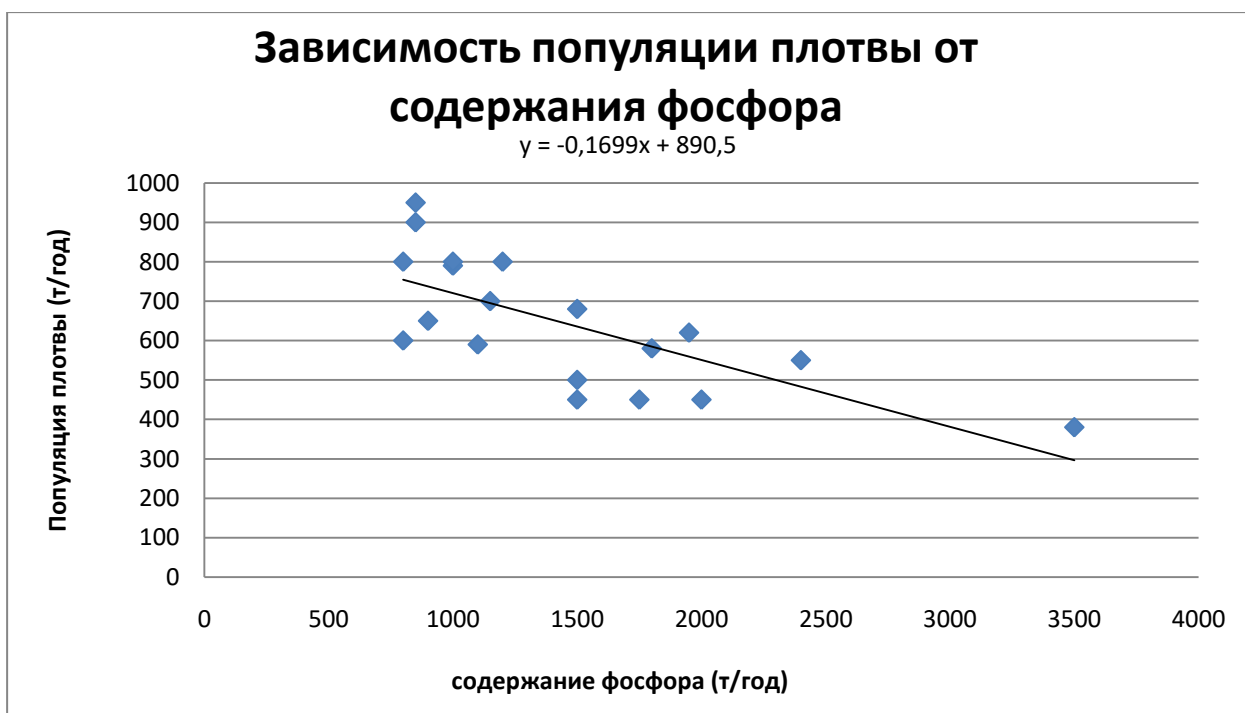


Рисунок 4. Зависимость биомассы плотвы от содержания Р (фосфора) в воде.

Значение коэффициента корреляции азота для лещей- “-0,903”, а для плотвы – “-0,830”. Коэффициенты корреляции фосфора составили такие же отрицательные результаты. Это значит, что содержание этих химических элементов представляют огромную опасность для указанных представителей Финского залива.

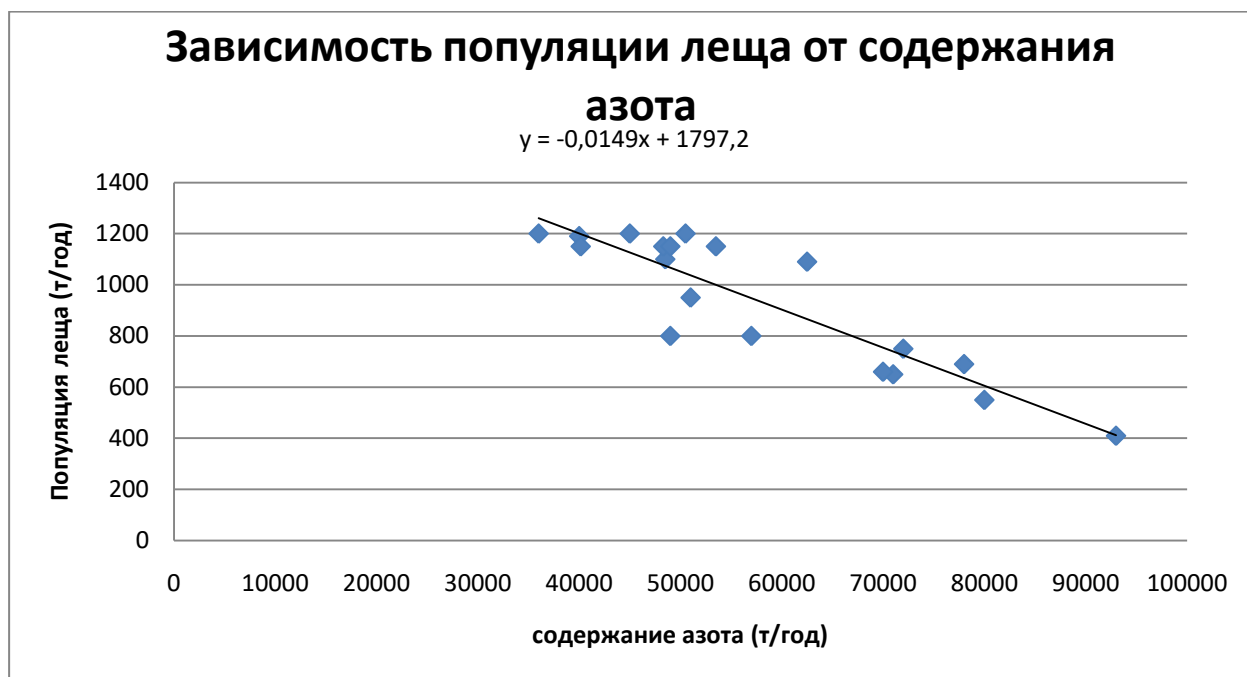


Рисунок 5. Зависимость биомассы леща от содержания N (азота) в воде.

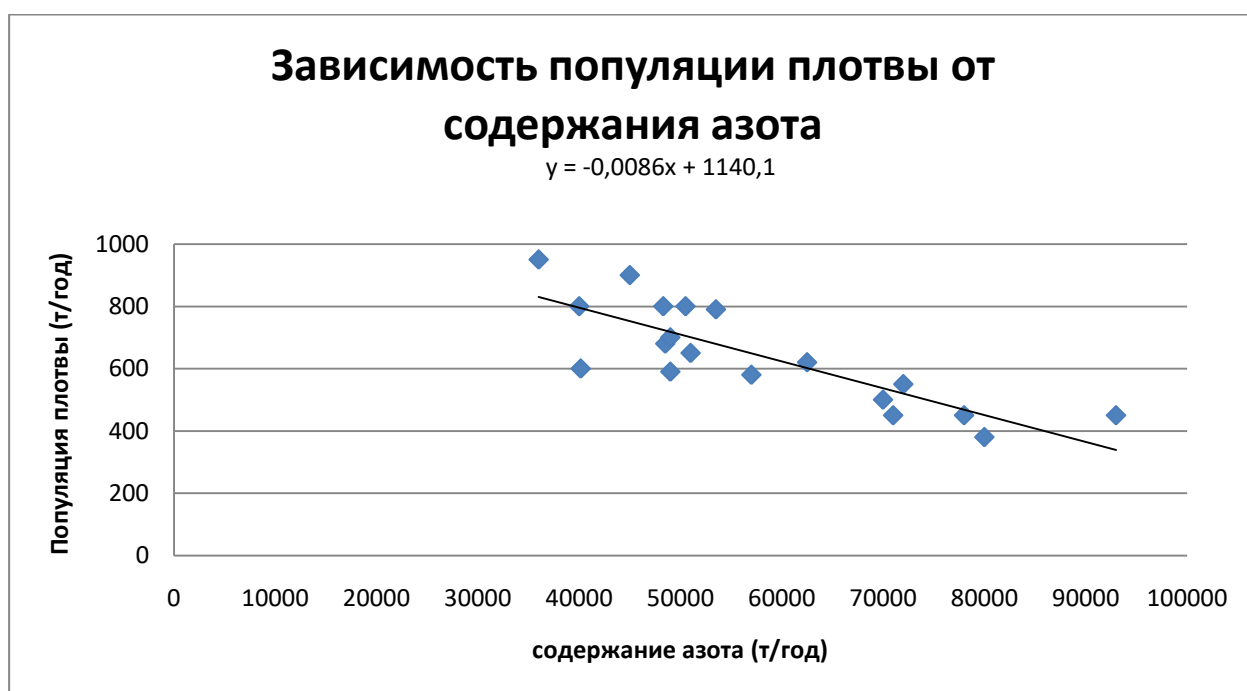


Рисунок 6. Зависимость биомассы плотвы от содержания N (азота) в воде.

Значение коэффициента корреляции азота для лещей- “-0,903”, а для плотвы – “-0,830”. Коэффициенты корреляции фосфора составили такие же отрицательные результаты. Это значит, что содержание этих химических элементов представляют огромную опасность для указанных представителей Финского залива.

Интересно, что содержание азота и фосфора увеличивает популяцию окуня и судака. Корреляционный анализ показал, что численность рыб остается либо неизменной, либо же возрастающей. Показатели коэффициента азота для окуня составили “0,588”, для судака – “0,469”. Значения фосфора для этих рыб примерно такие же “0,490”, “0,471” соответственно.

Эти факты подтверждаются и биологическими исследованиями.

Коэффициенты корреляции, близкие по модулю к единице, соответствуют о сильном влиянии одного фактора на другой. Поэтому, можно сказать, что содержание азота и фосфора является практически определяющим при рассмотрении динамики популяции ерша и леща. С биологической точки зрения возможно следующее объяснение: увеличение азота и фосфора приводит к увеличению биомассы растений (цветению водоема), что уменьшает количество кислорода в воде. Низкий уровень кислорода ведет к уменьшению популяции бентосных организмов, которые составляют основу питания ерша и леща. Следовательно, популяция указанных видов уменьшается. [5].

Положительную взаимосвязь популяции судака и окуня можно объяснить прожорливостью указанных видов. Следует отметить, что невысокое значение коэффициента корреляции говорит о том, что на популяцию хищников оказывают влияние и другие факторы, то есть содержание фосфора и азота в воде в данном случае не является определяющим. [4].

В заключение, хотелось бы отметить, что очень важно проводить комплексные исследования, мониторинги биологических наблюдений с учетом математической статистики, так как это позволит получать более достоверную информацию и делать объективные выводы.

#### Список литературы

1. Азёмов, Д.Т., Ахматович, Н.А. Байдуков, Д.А. и др. Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2019 году / Под редакцией Д.С. Беляева, И. А. Серебрицкого – СПб.: ООО «Типография Глори», 2020, 179 с.
2. Розенталь, О.М., Александровская, Л.Н., Кириллин, А.В. Упрощенный метод анализа, контроля и прогноза высокого загрязнения воды отдельными компонентами / Аналитика и контроль. 2017. Т. 21. № 2. с. 153-160.
3. Российская Ассоциация Водоснабжения и Водоотведения ГУП «Водоканал Санкт-Петербурга» Конференция «Улучшение экологического состояния Невско-Ладожской водной системы – залог устойчивого развития Северо-Западного региона России». Санкт-Петербург, 25.04.2017 Результаты мониторинга качества вод водных объектов системы Ладога – Нева – Невская губа Ипатова Светлана Владимировна, ФГБУ "Северо-Западное УГМС", 23 линия ВО, д.2а, 199106 Санкт-Петербург [ipatovasv24@yandex.ru](mailto:ipatovasv24@yandex.ru)
4. Сборник научных трудов. СПб: ИПК «Прикладная экология», Комиссия географии океана [Текст] РГО, 2013, 295 с.
5. [Электронный ресурс]//Федеральная служба государственной статистики URL: <http://www.gks.ru/> [Текст]
6. Емельянова Я.А. Статистический и корреляционно-регрессионный анализ уровня снежного покрова в Санкт-Петербурге// Математические модели техники, технологий и экономики: материалы Всероссийской научно-практической студенческой конференции, Санкт-Петербург, 10 июня 2020 года/ Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург: Политех-Пресс, 2020. – С. 43-48.



## АНАЛИЗ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НАСЕЛЕНИЯ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Кириллов Н.О.

Научный руководитель: Мешечкин В.В.

Кемеровский государственный университет, Кемерово

**Аннотация.** Заболеваемость представляет собой количественно измеряемое массовое явление, которое отражает состояние здоровья населения страны, округа, области, которое рассматривается в массе единичных случаев регистрации заболеваний у отдельных лиц. В статье проведен анализ заболеваемости на одну тысячу человек населения по основным классам болезней в рамках Российской Федерации, Сибирского федерального округа и Кемеровской области.

**Ключевые слова:** заболеваемость населения, здоровье населения, Кемеровская область, анализ заболеваемости.

Заболеваемость – медико-статистический показатель, определяющий число заболеваний, впервые зарегистрированных за календарный год среди населения, проживающего на какой-то конкретной территории [1].

Исчисляется количеством заболеваний на 1000 жителей, рассчитывается как отношение числа вновь возникших заболеваний к средней численности населения, умноженное на 1000.

Рассмотрим более подробно заболеваемость на 1000 человек населения по основным классам болезней (зарегистрировано заболеваний у пациентов с диагнозом, установленным впервые в жизни) в рамках страны, Сибирского Федерального округа и Кемеровской области [2].

На рисунке 1 представлен график заболеваемости по классификации «Болезни нервной системы».

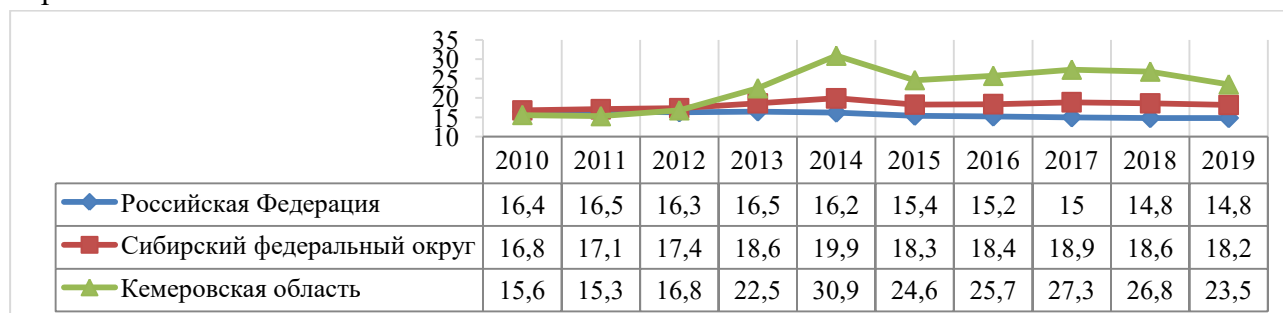


Рисунок 1. График заболеваемости по классификации  
«Болезни нервной системы»

Показатели в Кемеровской области выше, чем в Сибирском Федеральном округе и по стране. В 2019 году показатель по Кемеровской области превышает показатель по стране на 59%, а в 2014 – на 91%.

На рисунке 2 представлен график заболеваемости по классификации «Болезни системы кровообращения».

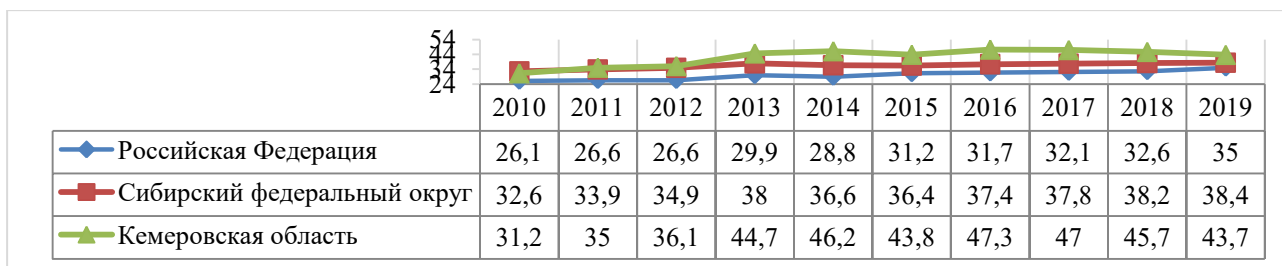


Рисунок 2. График заболеваемости по классификации «Болезни системы кровообращения»

По графику видно, что показатели в Кемеровской области значительно выше, чем в Сибирском Федеральном округе и по стране. В 2019 году показатель по Кемеровской области превышает показатель по стране на 25%, а в 2014 – на 62%.

На рисунке 3 представлен график заболеваемости по классификации «Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани».

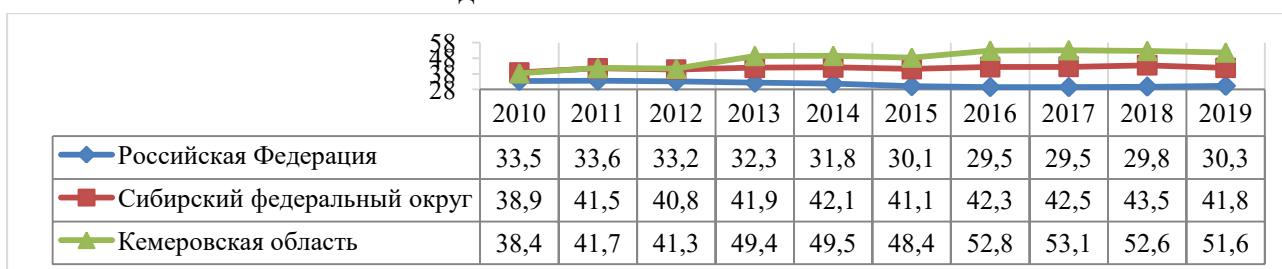


Рисунок 3. График заболеваемости по классификации «Болезни костно-мышечной системы и соединительной ткани»

По графику видно, что показатели в Кемеровской области выше, чем по стране. В области наблюдается тенденция увеличения заболеваемости. В 2019 году показатель по Кемеровской области превышает показатель по стране на 70%, а в 2016 – на 79%.

На рисунке 4 представлен график заболеваемости по классификации «Врожденные аномалии (пороки развития), деформации и хромосомные нарушения».

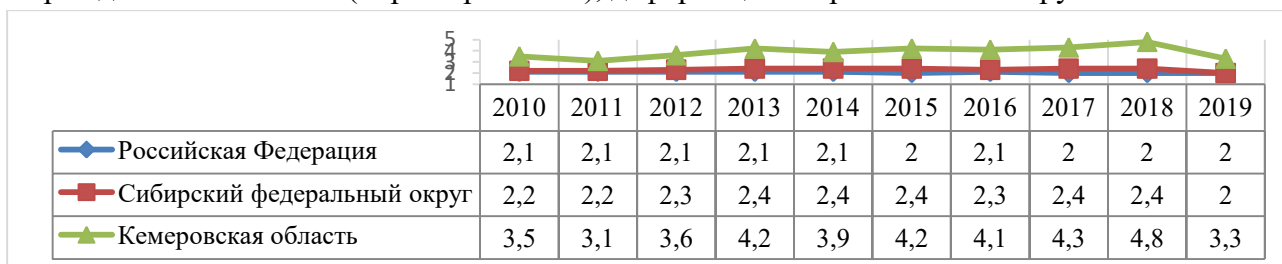


Рисунок 4. График заболеваемости по классификации «Врожденные аномалии (пороки развития), деформации и хромосомные нарушения»

Показатели заболеваемости в Кемеровской области значительно выше, чем по стране. В 2019 году показатель по Кемеровской области превышает показатель по стране на 62%, а в 2018 – на 140%.

На рисунке 5 представлен график заболеваемости по классификации «Травмы, отравления и некоторые другие последствия внешних причин».

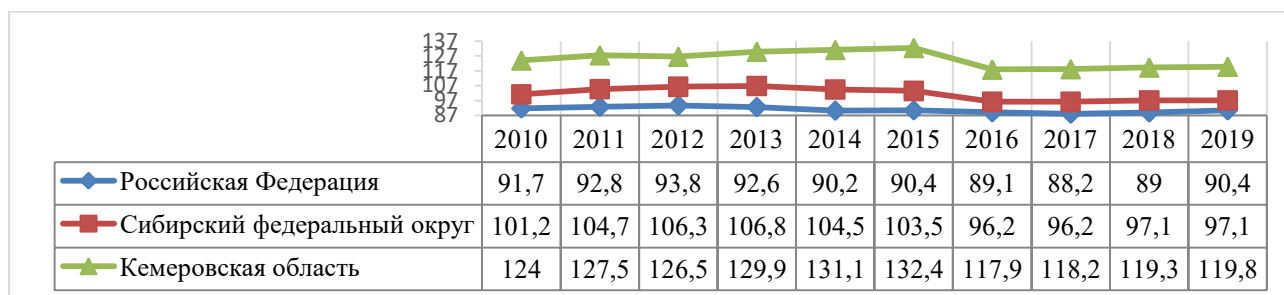


Рисунок 5. График заболеваемости по классификации «Травмы, отравления и некоторые другие последствия внешних причин»

Показатели заболеваемости в Кемеровской области значительно выше, чем по стране. В 2019 году показатель по Кемеровской области превышает показатель по стране на 33%, а в 2015 – на 46%.

На рисунке 6 представлен график заболеваемости по классификации «Новообразования».

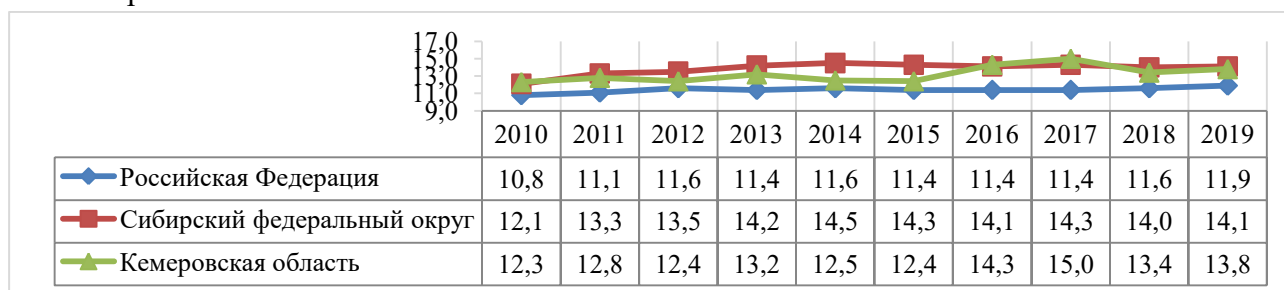


Рисунок 6. График заболеваемости по классификации «Новообразования»

По графику видно, что показатели заболеваемости по Кемеровской области и Сибирскому Федеральному округу выше, чем по Российской Федерации. В 2019 году показатель по Кемеровской области превышает показатель по стране на 16%, а в 2017 – на 32%.

Таким образом, показатели заболеваемости по множеству классификаций в Кемеровской области значительно выше показателей по стране, тема заболеваемости требует особого внимания.

### Список литературы

1. Официальный сайт «Федеральная служба государственной статистики». Регионы России. Социально-экономические показатели - 2019 г. [Электронный ресурс]: URL: [https://rosstat.gov.ru/bgd/regl/b19\\_14p/Main.htm](https://rosstat.gov.ru/bgd/regl/b19_14p/Main.htm)
2. Официальный сайт «Федеральная служба государственной статистики». [Электронный ресурс]: URL: <https://rosstat.gov.ru/>

## АНАЛИЗ ВЫБРОСОВ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ АТМОСФЕРУ ВЕЩЕСТВ В КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Кириллов Н.О.

Научный руководитель: Мешечкин В.В.

*Кемеровский государственный университет, Кемерово*

*Аннотация. Атмосферный воздух является жизненно необходимым компонентом окружающей природной среды. Непрерывное негативное воздействие на атмосферу и*

неудовлетворительное решение вопросов по ее оздоровлению отрицательно влияет на здоровье населения области. Источники выбросов могут быть стационарными и передвижными. В статье проведен анализ выбросов наиболее распространённых загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников в Кемеровской области.

**Ключевые слова:** загрязнение атмосферы, выбросы загрязняющих атмосферу веществ, Кемеровская область.

Загрязнение – это привнесение в какую-либо среду новых, не характерных для неё физических, химических и биологических агентов или превышение естественного среднесуточного уровня агентов в среде [1].

Объектами загрязнения являются основные компоненты экотопа: атмосфера, вода, почва.

Ингредиентами загрязнения являются тысячи химических соединений, особенно металлы и оксиды, токсические вещества, аэрозоли. Загрязнителем может быть любой физический агент, химическое вещество и биологический вид, которые при попадании в окружающую среду превышают свою обычную концентрацию.

Рассмотрим выбросы наиболее распространённых загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников в Кемеровской области в тысячах тонн [2].

На рисунке 1 представлен график выброса диоксида серы в атмосферу.

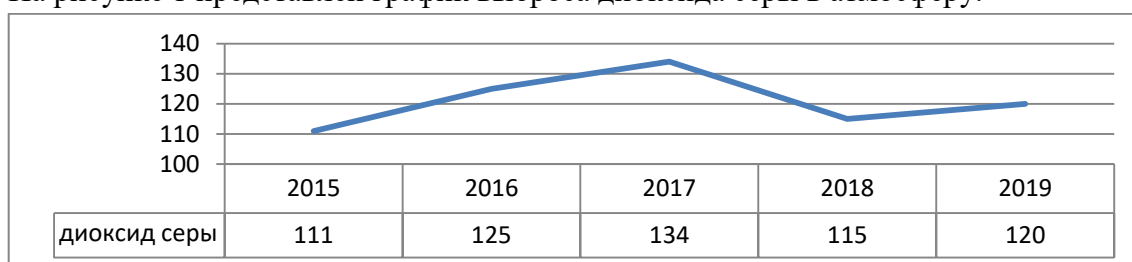


Рисунок 1. График выброса диоксида серы в атмосферу

Выбросы диоксида серы на протяжении 2015-2019 годов находятся приблизительно на одном уровне. Однако стоит отметить, что в 2018 году было значительное уменьшение выбросов.

На рисунке 2 представлен график выброса оксида азота в атмосферу.

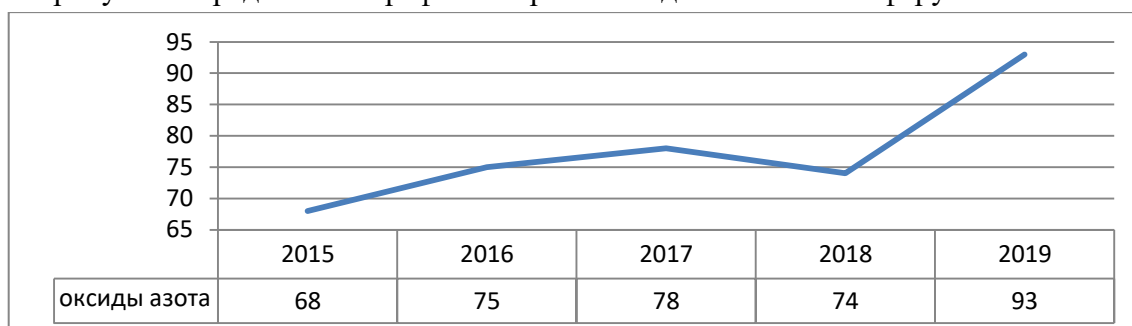


Рисунок 2. График выброса оксида азота в атмосферу

Выбросы оксида азота на протяжении 2015-2018 годов находятся приблизительно на одном уровне, в 2019 году наблюдается значительное увеличение выбросов в атмосферу. Рост составляет 26% от 2018 года.

На рисунке 3 представлены выбросы оксида углерода в атмосферу.

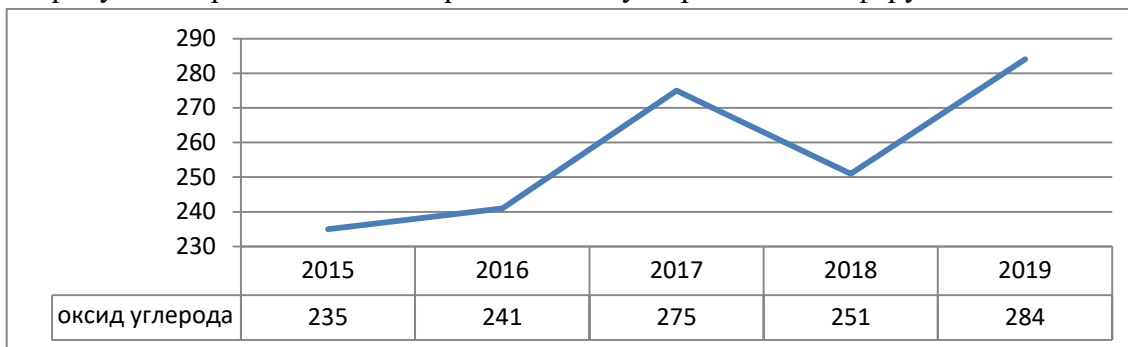


Рисунок 3. График выброса оксида углерода в атмосферу

Выбросы оксида углерода в 2017 и 2019 годах высоки. В 2018 году было уменьшение на 9%, однако в 2019 произошло увеличение на 13%.

На рисунке 4 представлен график выброса углеводородов (без летучих органических соединений) в атмосферу.

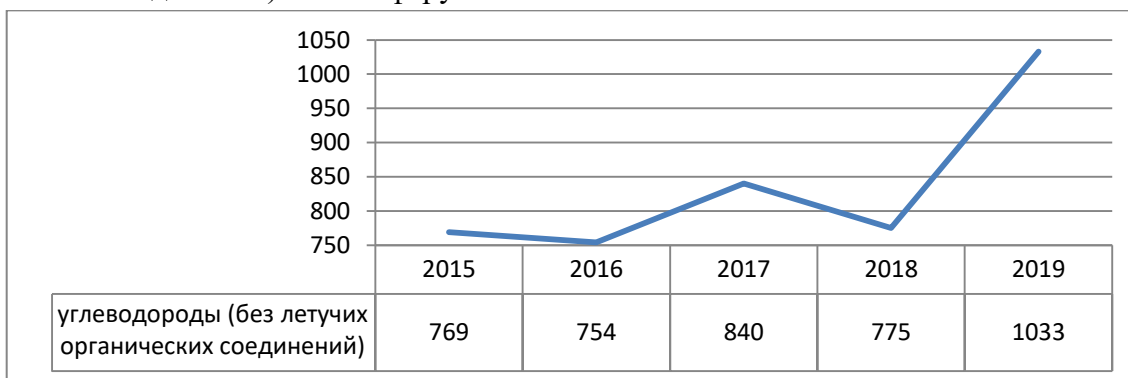


Рисунок 4. График выброса углеводородов (без летучих органических соединений) в атмосферу

Уровень выброса углеводородов (без летучих органических соединений) в атмосферу в 2019 году значительно увеличился. Рост за год произошел на 33%.

На рисунке 5 представлен график выброса летучих органических соединений в атмосферу.

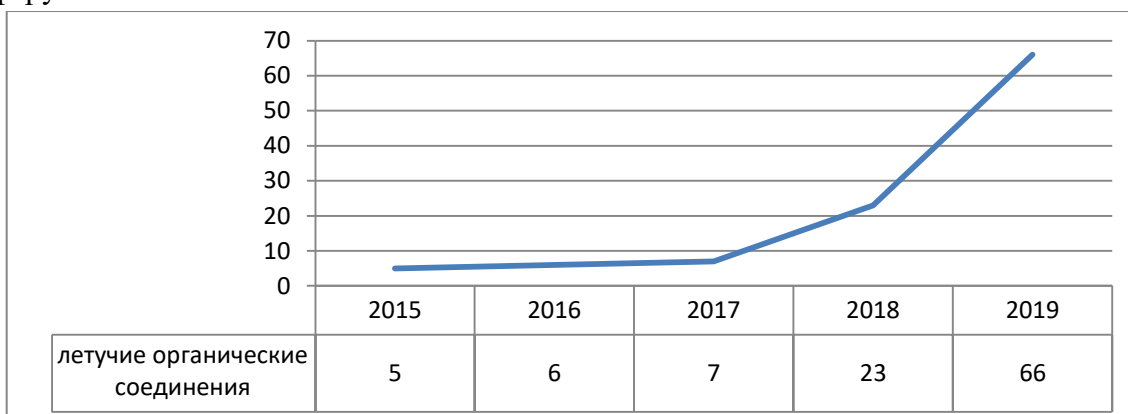


Рисунок 5. График выброса летучих органических соединений в атмосферу

Уровень выброса летучих органических соединений в атмосферу в 2018 и 2019 годах значительно увеличился. Показатель в 2018 году увеличился в 3,3 раза, а в 2019 году – еще в 2,8 раза.

На рисунке 6 представлен график прочих газообразных и жидких выбросов в атмосферу.

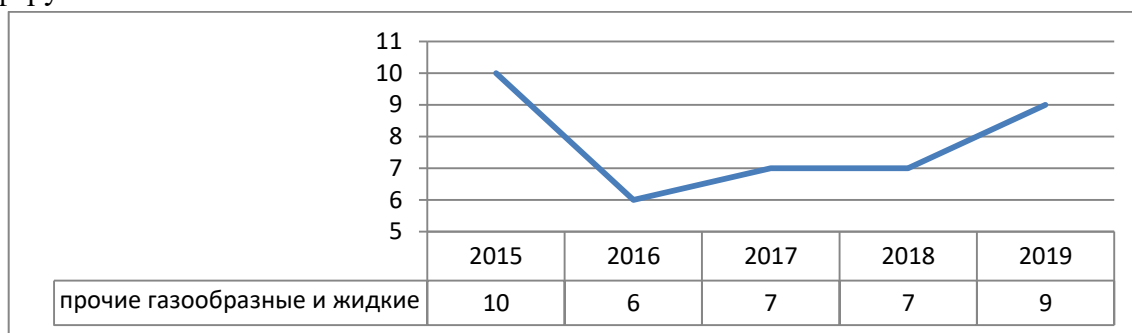


Рисунок 6. График выброса прочих газообразных и жидких выбросов в атмосферу

Максимальный уровень прочих газообразных и жидких выбросов в атмосферу наблюдался в 2015 году, после чего выбросы уменьшились. Однако в 2019 году вновь наблюдается увеличение выбросов на 29%.

Таким образом, показатели выбросов наиболее распространённых загрязняющих атмосферу веществ, отходящих от стационарных источников в Кемеровской области, достаточно высоки. Многие показатели продолжают расти и на данный момент. Затронутая тема требует особого внимания.

#### Список литературы

1. Официальный сайт «Федеральная служба государственной статистики». Регионы России. Социально-экономические показатели - 2019 г. [Электронный ресурс]: URL: [https://rosstat.gov.ru/bgd/regl/b19\\_14p/Main.htm](https://rosstat.gov.ru/bgd/regl/b19_14p/Main.htm)
2. Официальный сайт «Федеральная служба государственной статистики». [Электронный ресурс]: URL: <https://rosstat.gov.ru/>

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРИХОДА ПАЦИЕНТА В КЛИНИКУ

**Кривякина А.В., Корохова Е.В.**

**Научный руководитель: Корохова Е.В.**

*Южный Федеральный университет, Институт высоких технологий и пьезотехники,  
Ростов-на-Дону*

**Аннотация.** В статье рассматривается процесс прихода пациента в клинику путем построения имитационной модели. Выявляются основные проблемы в работе клиники, в том числе потери времени, повышенная вероятность заражения из-за смешивания пациентов в очереди, низкая скорость работы медицинских регистраторов из-за работы с бумажной документацией и ее заполнения вручную, неудовлетворенность пациента работой клиники, предлагаются мероприятия по устранению потерь.

**Ключевые слова:** имитационная модель, ожидание, клиника, очередь, разделение потоков.

В настоящее время посещение пациентами лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ) является трудоемким и долгим процессом, который связан с рядом проблем. Запись в регистратуре, долгое ожидание, огромные очереди, в которых есть как больные, так и здоровые пациенты, находящиеся на разных стадиях болезни, за счет этого повышается вероятность заражения инфекциями, происходит путаница с

документами из-за самостоятельного поиска нужного врача, что делает времяпрепровождение в клинике невыносимым мероприятием. В конечном счете, многие пациенты либо старательно избегают посещения клиники, либо испытывают колоссальный стресс.

Для повышения эффективности работы клиники следует проанализировать процесс прихода пациента в клинику, так как на этапе и возникают проблемы, связанные с ожиданием пациента в очереди и построить имитационную модель процесса. Сейчас он проходит следующим образом.

Пациент, приходя в клинику, должен обязательно иметь с собой маску, особенно сейчас, в период пандемии коронавируса. При входе охранник проверяет ее наличие или отсутствие, пациенту необходимо ее надеть. Если у пациента отсутствует маска, то охранник в соответствии с инструкцией должен не допустить его к проходу и предложить пациенту купить маску. Пациент вынужден отлучиться из клиники и искать место покупки. Поскольку многие приезжают рано утром, необходимо найти ближайшую аптеку, но она вполне может не работать. Пациент тратит время, после покупки он возвращается в клинику, и очередь в регистратуру могла уже сформироваться, поэтому все потери времени снижают удовлетворенность пациента посещением клиники.

Далее происходит измерение температуры. Оно проводится с точностью до  $\pm 0,2$  °С. Это может делать или охранник, или медсестра. Если температура пациента выше, чем 37,2 °С, то его отправляют в бокс, где врач осматривает пациента и решает, либо его направить в отделение скорой помощи, либо отправить его к другому специалисту.

Если у пациента температура меньше, чем 37,2 °С, то он отправляется в регистратуру. На данном этапе формируются очереди, в которых пациент тратит свое время. В то же время, вероятность заражения в данном случае больше, так как пациент может болеть без температуры. Очередь в регистратуру формируется из-за низкой скорости обработки информации, так как большинство документов представлены в бумажном варианте и работает всего 2 – 3 человека медрегистратора. В утренние и вечерние часы пациентов приходит больше, очередь формируется быстрее, что требует своевременного и быстрого обслуживания. Если пациент стоит в очереди долгое время, недовольство его растет, что сказывается на репутации клиники, если он захочет пожаловаться.

Для того, чтобы понять, на каком этапе накапливаются проблемы, необходимо многократно проиграть процесс прихода пациента в клинику с помощью имитационного моделирования. Целью проведения имитационного моделирования является получение значений исследуемых параметров на основе известных данных [2]. Первоначально строится модель существующего процесса. На вход поступают пациенты в различные периоды времени с разной настроенной интенсивностью.

Для того, чтобы посмотреть, какие потери пациентов имеются в этом процессе, необходимо запустить имитационную модель и проследить за потоком пациентов. Для этого у каждого блока процессов необходимо задать время выполнения. После того, как пациент подходит к регистратуре, он смотрит, есть ли свободные медрегистраторы, если их нет, то он встает в очередь. По окончании 30 минут, пациент уходит, не дождавшись своей очереди. Процесс имитации модели представлен на рисунке 1.



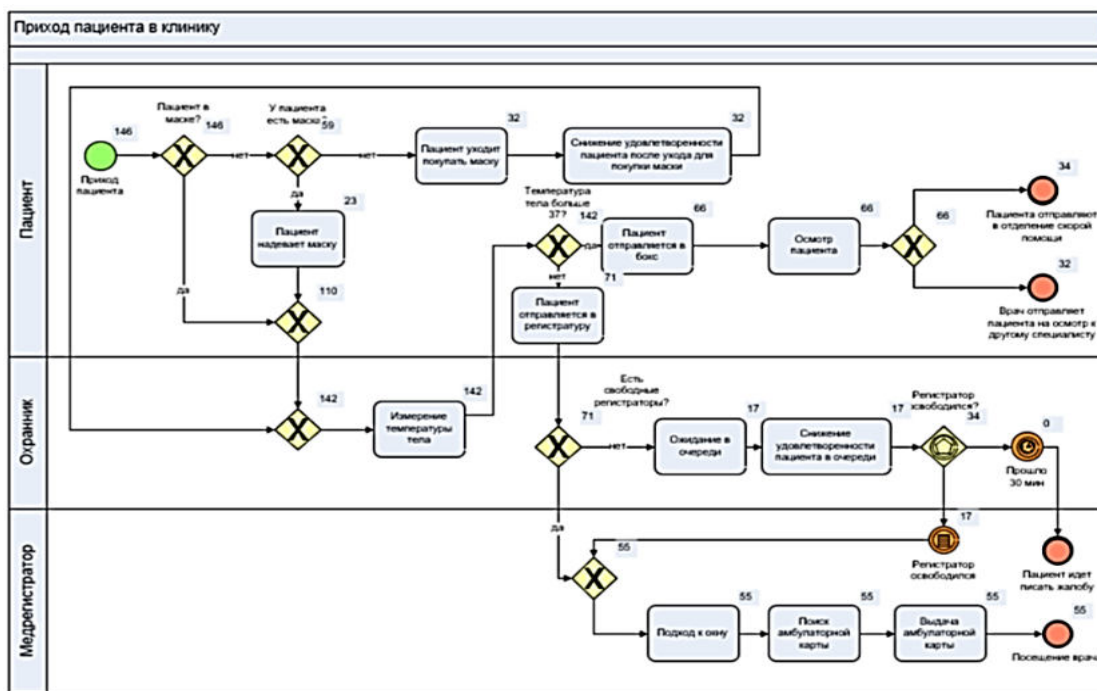


Рисунок 1. Имитационная модель существующего процесса прихода пациента в клинику

Проанализировав полученные в ходе проведения имитации данные, можно сделать вывод о том, что у процесса большие потери времени из-за ожидания очереди. Из 146 пришедших пациентов 55 попали к врачу. 34 больных пациентов попали в отделение скорой помощи, а 32 больных пациентов врач после предварительного исследования отправились на прием к другому специалисту.

При этом 32 пациента без масок ушли неудовлетворенные покупать их в магазин, так как их не выдают на входе, и после возвращения в регистратуре уже могла скопиться очередь. 17 пациентов стоят в очереди на этапе ожидания освобождения медрегистратора, чтобы его обслужили, что влияет на удовлетворенность пациента. Это происходит из-за того, что в клинике до сих пор присутствуют бумажные карты пациента, вследствие чего увеличивается время на поиск необходимых документов и на оформление пациента. Хорошим показателем является отсутствие тех пациентов, которые устали ждать очередь и не пошли писать жалобу на низкую скорость работы медрегистраторов.

Для того, чтобы усовершенствовать процесс необходимо выполнить следующее:

- 1) вместо того, чтобы отправлять пациента покупать маску, следует выдавать ее на входе, из-за этого пациент не уходит;
- 2) температура тела измеряется с помощью специального тепловизора в фильтре с погрешностью  $\pm 0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- 3) далее следует проводить разделение потоков следующим образом:
  - если у пациента температура тела меньше, чем  $37,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , то пациент отправляется регистратуру,
  - если температура больше, чем  $37,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , то пациента проверяют дополнительно отправляют в боксе в кабинете предварительного осмотра,



— если температура пациента больше, чем  $38,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то пациента отправляют в отделение скорой помощи;

4) если температура пациента меньше, чем  $38,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то он проверяется на наличие вирусной инфекции: если ее нет, то пациент отправляется на прием к другому специалисту; если у человека есть симптомы заразного заболевания, то его отправляют в фильтр, а затем в специальную регистратуру;

5) после того, как пациенты разделены условно на группы «здоровый» и «больной», они идут в разные регистратуры и уже там им выдаются карты пациента из медицинской информационной системы и направления к врачу, соответственно, количество обслуженных пациентов в день увеличится;

6) внедрить в работу клиники медицинскую информационную систему, чтобы ускорить работу медрегистраторов и заменить ею бумажный документооборот.

Имитация усовершенствованной модели процесса посещения клиники представлен на рисунке 2.

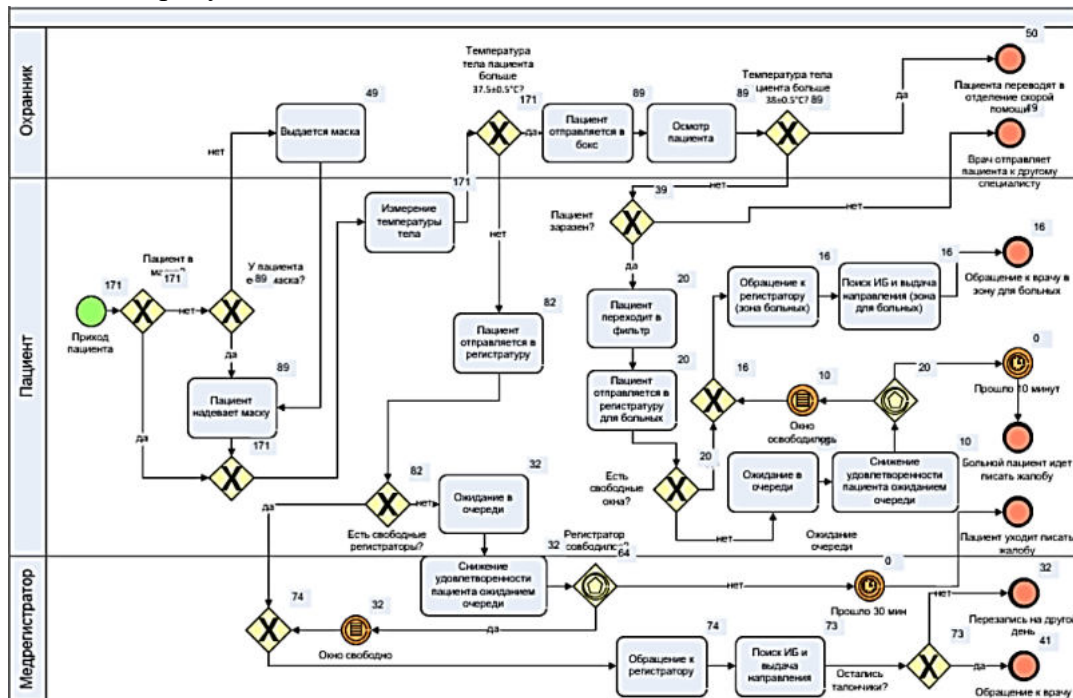


Рисунок 2. Новая имитационная модель процесса прихода пациента в клинику

После проведенных мероприятий по улучшению работы бизнес-процесса можно сделать следующие выводы:

- 1) пациенты не уходят по причине отсутствия у них масок;
- 2) пациенты не уходят домой заниматься самолечением, а остаются в больнице независимо степени заболевания;
- 3) идет разделение потоков пациентов, чтобы в дальнейшем они не пересекались;
- 4) ни один пациент не ушел жаловаться на низкую скорость работы персонала, так как внедрение медицинской информационной системы позволило быстро записывать пациентов к врачу и выдавать им направления, и соответственно, медрегистратор стал быстрее выполнять свою работу в целом по сравнению с бумажным документооборотом;

5) в клинике работают недостаточное количество врачей, поэтому не всем пациентам хватило талончиков и их перезаписали на другой день.

Таким образом, построение и анализ имитационной модели прихода пациента в клинику позволил выявить временные потери пациентов в клинике. Количество обслуженных пациентов увеличилось, пациенты перестали пересекаться, вероятность заражения у них снизилось. 32 пациентов записали на прием к врачу на другой день из-за малого количества работающих врачей, что говорит о необходимости в квалифицированных кадрах.

#### Список литературы

1. Проект "бережливая поликлиника" - принципы и плюсы реализации [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: <https://automat-service.ru/news/proekt-berezhlivaya-poliklinika-printsipy-i-plyusy-realizatsii.html> (Дата обращения: 07.06.2021)
2. Теория имитационного моделирования [Электронный ресурс] – Режим доступа: URL: [https://www.businessstudio.ru/wiki/docs/v4/doku.php/ru/simulation\\_fca/viewing](https://www.businessstudio.ru/wiki/docs/v4/doku.php/ru/simulation_fca/viewing) (Дата обращения: 07.06.2021)

### СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГЕНДЕРНЫХ РАЗЛИЧИЙ БИОРИТМОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА

Рахимова В.В.

Научный руководитель: Осечкина Т.А.

*Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург*

*Аннотация.* В работе рассматривается вопрос о различии уровня биоритмов у мужчин и женщин при выполнении ими различных действий. рассматривались ситуации покоя, ситуация пассивного слежения, ситуация решения задач. В первом случае анализировались уровни альфа волн, во втором – уровень бета-ритма, в последнем – гамма-ритма. Для статистического анализа использовался непараметрический критерий Манна-Уитни. Были выявлены статистические гендерные различия в ситуациях активности.

*Ключевые слова:* ритмы головного мозга, гамма-ритм, бета-ритм, альфа-ритм, критерий Манна-Уитни, гендерные различия.

**Ритмы головного мозга** — колебания, выделяемые в общей электрической активности головного мозга. Рассмотрим характеристики некоторых ритмов головного мозга [1].

Гамма-ритм ( $\gamma$ -ритм) — частота колебания выше 30 Гц, иногда достигает 100 Гц, амплитуда обычно не превышает 15 мкВ. Обычно очень хорошо наблюдается при решении задач, которые требуют максимального сосредоточения внимания.

Бета-ритм ( $\beta$ -ритм) — частота колебания варьируется от 14 до 40 Гц. Амплитуда колебания обычно до 20 мкВ. Бета-волны в норме связаны с высшими когнитивными процессами и фокусированием внимания, в обычном бодрствующем состоянии, когда мы с открытыми глазами наблюдаем за происходящими событиями, или сосредоточены на решении каких-либо текущих проблем.

Альфа-ритм ( $\alpha$ -ритм) — частота колебания варьируется от 8 до 13 Гц. Амплитуда 5-100 мкВ, наибольшая амплитуда проявляется при закрытых глазах и в затемнённом помещении. Альфа-волны возникают тогда, когда мы закрываем глаза и начинаем расслабляться.

Каппа-ритм (к-ритм) — частота колебания данного ритма лежит в пределах от 8 до 13 Гц. Амплитуда располагается в промежутке 5-40 мкВ. Наблюдается при подавлении альфа-ритма в других областях в процессе умственной деятельности.

Мю-ритм (μ-ритм) — частота колебания ритма от 8 до 13 Гц. Амплитуда обычно не превышает 50 мкВ. Связан с тактильным и проприоцептивными раздражениями и воображением движения. Активируется во время умственной нагрузки и психического напряжения.

Частота колебания тау-ритма (τ-ритма) лежит в пределах от 8 до 13 Гц, частоты колебания лямбда-ритма (λ-ритма) и сонных веретён совпадают и находятся в пределах от 12 до 14 Гц. Тау-ритм отвечает блокадой на звуковые стимулы. Сигма-ритм наблюдается в ЭЭГ, но полностью блокируется в развитой фазе быстрого сна.

Тета-ритм (θ-ритм) — частота колебания данного ритма составляет от 4 до 8 Гц. Амплитуда находится в пределах от 20 до 100 мкВ. Тета-волны появляются тогда, когда спокойное, расслабленное бодрствование переходит в сонливость. Колебания в головном мозге становятся более медленными и ритмичными. Это состояние называется ещё «сумеречным», поскольку в нём человек находится между сном и бодрствованием.

**Постановка задачи.** Исследуются биоритмы головного мозга 43 молодых людей в возрасте 19-22 года. Биоритмы измерялись в различных ситуациях [2]:

1. Состояние покоя
2. Выполнение механических движений вслед за курсором
3. Решение математических задач школьного курса

**Результаты эксперимента.** Статистический анализ результатов эксперимента проводился по непараметрическому критерию Манна-Уитни. Выбран непараметрический критерий, поскольку вид распределения случайной величины — числа биоритмов определенного вида — неизвестен.

Критерий Манна-Уитни [3] является ранговым и используется для сравнения уровней признака двух выборок, в каждой из которых не менее 3-х значений. В рассматриваемом случае в первую выборку включены измерения биоритмов женщин в каждой из рассматриваемых ситуаций, во вторую — соответствующие измерения мужчин.

Рассмотрим ситуацию 2 — «Выполнение механических движений вслед за курсором». Проверялась гипотеза  $H_0$ : {уровень биоритмов женщин не выше уровня биоритмов мужчин (или достоверных различий уровня биоритмов мужчин и женщин нет)} относительно альтернативной гипотезы  $H_1$ : {уровень биоритмов женщин выше уровня биоритмов мужчин}.

Согласно критерию Манна-Уитни результаты измерений объединялись в единый ряд, при этом значение показателей женщин выделялись красным. Полученный ряд упорядочивался по возрастанию и ранжировался. Находились суммы рангов уровней биоритмов женщин  $T_1$  и уровней биоритмов мужчин  $T_2$ .

Экспериментальная статистика критерия рассчитывается по формуле

$$U_{\text{эмп}} = n_1 \cdot n_2 + \frac{n_x \cdot (n_x + 1)}{2} - T_x,$$

где  $n_1$  — количество женщин в выборке,  $n_2$  — количество мужчин в выборке,  $T_x$  — большая из двух ранговых сумм,  $n_x$  — количество испытуемых в группе с большей ранговой суммой.

Для рассматриваемого эксперимента  $n_1=24$ ,  $n_2=19$ ,  $T_1=608$ ,  $T_2=338$ . В качестве  $T_x$  выступает в данном случае ранговая сумма, полученная по выборке уровней биоритмов женщин. Тогда

$$U_{\text{эмп}} = 24 \cdot 19 + \frac{24 \cdot (24 + 1)}{2} - 608 = 148.$$

Критическое значение статистики находится по таблицам критерия Манна-Уитни для данных объемов выборок и заданного уровня значимости. Для уровня значимости  $\alpha=0,05$  и объемов выборок  $n_1=24$ ,  $n_2=19$  критическое значение критерия  $U_{\text{кр}}=160$ .

Согласно критерию, если  $U_{\text{эмп}} < U_{\text{кр}}$ , то принимается гипотеза  $H_1$ , т.е. уровень биоритмов женщин при выполнении рассматриваемого действия выше, чем уровень биоритмов мужчин.

Аналогичный статистический анализ был выполнен для случая «экспериментуемый находится в состоянии покоя» и «экспериментуемый решает математические задачи школьного курса». В первом варианте достоверных различий в уровнях биоритмов не было выделено, во втором – уровень биоритмов женщин был статистически выше уровня биоритмов мужчин.

Вывод. При выполнении действий уровень волн головного мозга более высок у женщин, чем у мужчин.

#### Список литературы

1. Википедия. [https://ru.wikipedia.org/wiki/Ритмы\\_головного\\_мозга](https://ru.wikipedia.org/wiki/Ритмы_головного_мозга)
2. Оконская, Н.К. Функциональная асимметрия мозга: механика пространственной организации // М.А.Аликина, Н.К.Оконская, Т.А. Осечкина, Т.Ф. Пепеляева, В.Ю. Иванкин, М.А. Ермаков, Российский журнал биомеханики. 2018. Т. 22. № 2. С. 253-265.
3. Копыцкий, А.В., Наумюк Е.П. Математическая статистика в медицине: учебное пособие/ А.В.Копыцкий, Е.П.Наумюк. Гродно: ГрГМУ, 2013, 220 с.

## ФРАКТАЛЬНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭМОЦИЙ В АУДИО И ВИЗУАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ

Сапаров А.В.

Научный руководитель: Тарабан М.В.

*Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
им. С.М.Кирова, Санкт-Петербург*

*Аннотация. Уже известно, что слуховые и зрительные стимулы в разной степени способны передавать эмоции в сознании человека. Сила или интенсивность эмоционального возбуждения зависит от типа выбранного стимула. Надежный метод фрактального анализа под названием Detrended Fluctuation Analysis (DFA) и его двумерный аналог были использованы для характеристики трех стандартизированных аудио- и видеосигналов, количественно определяя их масштабный экспонент, соответствующий положительной и отрицательной валентности.*

*Ключевые слова: Кросс-модальная валентность, эмоции, аудио/визуальные стимулы, 2D-DFA, экспонента Харста.*

На психологическом уровне был проведен ряд исследований, посвященных тому, как отличаются друг от друга эмоции, передаваемые двумя различными модальностями - аудио и визуальной. Некоторые из них даже пытаются выяснить, как отличается друг от друга сила восприятия эмоций, выраженных в двух модальностях. Уже известно, что определенные эмоции, такие как благоговение и удивление, часто отмечаются при наблюдении за произведениями искусства. Эти эмоции обычно возникают, когда человек оценивает что-то увиденное как очень сложное и новое, и у

него возникает ощущение присутствия чего-то более великого, чем он сам. Однако недавно было подчеркнута, что реакции на искусство более разнообразны и часто включают такие эмоции, как грусть и ностальгия, которые также испытываются в других повседневных ситуациях. Если мы попытаемся рассмотреть основные элементы картины: основные цвета (красный, зеленый и синий), а также их оттенки, то получается, что теплые цвета - такие как красный, желтый и оранжевый - могут вызывать различные эмоции, от комфорта и тепла до враждебности и гнева. Холодные цвета - такие как зеленый, синий и фиолетовый - часто вызывают чувство спокойствия, а также грусти. Но все это психологические исследования, основанные на данных о реакции человека, однако до сих пор не было исследования, которое бы классифицировало эмоциональную оценку математически.

В последние годы развивается использование музыкальных стимулов как важного средства эмоциональной оценки с особым акцентом на кросс-модальную передачу эмоций. На физиологическом уровне эмоционально возбуждающие звуки вызывают большую электродермальную активность, которая чувствительна к возбуждению эмоциональных стимулов.

Образец данных состоит из 6 аудиосигналов длительностью около 10 секунд каждый и 6 аффективных картинок, из которых по 3 относятся к положительным и отрицательным. Эмоциональные оценки, соответствующие визуальным и аудио стимулам, были стандартизированы с помощью различных психологических тестов и подтверждены стандартизированными показателями, представленными в литературе. Как мощный математический инструмент, теория фракталов, созданная Мандельбротом в 1960-х годах, широко применяется во многих областях естественных наук. Поскольку простой итерационный алгоритм в теории фракталов может генерировать множество сложных изображений, фрактальная размерность рассматривается как эффективная мера сложности целевого объекта. Используется надежный инструмент нелинейного анализа данных под названием Detrended Fluctuation Analysis (DFA) для расчета дальних временных корреляций или экспоненты Харста, соответствующих слуховым сигналам. Подобные нелинейные анализы ранее использовались в научном сообществе для понимания глубинных сложностей в этих по своей сути свернутых аудиосигналах.

Была использована экспонента масштабирования (или экспонента Харста), полученная из аудиоклипов и визуальных изображений, в качестве надежного параметра для количественной оценки их эмоциональной валентности. Таким образом, есть один уникальный масштабный экспонент, соответствующий каждому одномерному аудиосигналу, и три масштабных экспонента, соответствующих компоненту RED/GREEN/BLUE (RGB) в каждом из визуальных изображений. Таким образом, получилось обеспечить количественную классификацию эмоциональных сигналов в слуховой и визуальной областях, используя сами исходные сигналы. Кроме того, корреляционные характеристики между картинками и аудиоклипами также были рассчитаны с помощью метода 2D/1D- Detrended Cross-correlation (DCCA), который, по сути, дает степень корреляции между отдельными областями.

Выбор трех пар аудио- и визуальных стимулов 6 клипов длительностью около 10 с каждый (по 3 клипа, относящихся к положительной и отрицательной валентности)

были выбраны из базы данных музыкальных клипов IADS и нормализованы для акустического анализа. Аналогичным образом были выбраны 6 известных картин, из которых по 3 принадлежали к положительной и отрицательной валентности. Все выбранные клипы и картины были подвергнуты анализу реакции 50 участников, чтобы подтвердить эмоциональную оценку каждого из выбранных стимулов.

Таким образом, была получена стандартизированная мера каждого стимула, соответствующего как слуховой, так и визуальной области. Для определения степени эмоциональной оценки, соответствующей используемому стимулу, проводится корреляционное исследование по всем кросс-модальным областям.

#### МЕТОДОЛОГИЯ:

Одномерный детрендированный флуктуационный анализ (ДФА) традиционно проводится по алгоритму.

В этом разделе описаны шаги для вычисления экспоненты Харста с помощью двумерного DFA для полутонного изображения I. Этапы следующие:

1) Профиль  $x_{i,j}$  вычисляется с помощью:

$$x_{i,j} = \sum_{n=1}^i \sum_{m=1}^j (I_{i,j} - \bar{I})$$

где  $m = 1, 2, \dots, M$ ,  $n = 1, 2, \dots, N$ ,  $I_{n,m} = 0, 1, \dots, 255$  - яркость пикселя в точке координатах  $(m, n)$  серошкального изображения, а  $\bar{I}$  - среднее значение  $I_{n,m}$ .

2)  $x_{i,j}$  делится на небольшие области размером  $s \times s$ , где  $s$  задается как:

$$s_{\min} \approx 5 \leq s \leq s_{\max} \approx \min\{M, N\}/4.$$

3) Вычисляется интерполирующая кривая для  $x_{i,j}$  с использованием:

$$\square_{\square, \square}(\square, \square) = \square_{\square} \square + \square_{\square} \square + \square_{\square},$$

в 1-й малой квадратной области размером  $s \times s$ , которая может быть получена с помощью процедуры множественной регрессии процедуры.

4) Дисперсия в  $\square$ -ной области малого квадрата вычисляется для  $s = s_{\min}, s_{\min} + 1, \dots, s_{\max}$ , задается:

$$F_{i,j}^2(l, s) = \frac{1}{s^2} \sum_{n=1}^{i+s} \sum_{m=1}^{j+s} (x_{i,j} - G_{i,j}(l, s))^2$$

5) Среднеквадратичное значение  $F(s)$  вычисляется как:

$$F(s) = \left[ \frac{1}{L_s} \sum_{l=1}^{L_s} F_{i,j}^2(l, s) \right]^{1/2}$$

где  $L_s$  обозначает количество маленьких квадратных областей размером  $s \times s$ .

6) Если  $x_{i,j}$  имеет дальнедействующую корреляционную характеристику типа power-law, то функция флуктуации  $F(s)$  имеет следующий вид:

$$F(s) \propto s^\alpha,$$

где  $\alpha$  - двумерная масштабная экспонента, параметр самоаффинности, представляющий дальнедействующую силово-слабую корреляционную характеристику поверхности. Для исследования кросс-корреляций по степенному закону между различными одновременно регистрируемыми временными рядами в присутствии нестационарности во многих случаях использовался 1D-Detrended Cross Correlation Analysis (DCCA) .

Здесь он обобщается на двумерный аналог для извлечения степени корреляции между различными картинками.

В данной работе был представлен алгоритм для автоматической классификации и сравнения эмоциональных оценок от кросс-модальных стимулов на основе количества дальних временных корреляций, присутствующих в слуховых и визуальных стимулах.

#### **Список литературы**

1. Scherer, K. R., & Zentner, M. R. (2001). Эмоциональное воздействие музыки: Правила производства. Музыка и эмоции: Теория и исследования.
2. Zentner, M., Grandjean, D., & Scherer, K. R. (2008). Эмоции, вызываемые звучанием музыки: характеристика, классификация и измерение.
3. Keltner, D., & Haidt, J. (2003). Приближение к благоговению, моральной, духовной и эстетической эмоции. Познание и эмоции, 17(2), 297-314.
4. Vuoskoski, J. K., & Eerola, T. (2012). Может ли грустная музыка действительно заставить вас грустить? Косвенные показатели аффективных состояний, вызванных музыкой и автобиографическими воспоминаниями. Психология эстетики, творчества и искусства, 6(3), 204 с.
5. Barrett, F. S., Grimm, K. J., Robins, R. W., Wildschut, T., Sedikides, C., & Janata, P. (2010). Вызванная музыкой ностальгия: Аффект, память и личность.
6. Eerola, T., Lartillot, O., & Toivianen, P. (Октябрь 2009). Прогнозирование многомерных эмоциональных оценок в музыке из аудио с помощью моделей многомерной регрессии (стр. 621-626).

## Секция 6. Информационные и интеллектуальные технологии в технике и образовании

### СВЁРТОЧНЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Бойцов А.К., Логачев А.А.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург

**Аннотация.** Проблемы пожарной безопасности и защита леса от распространения вредителей и болезней всегда остро стояли в лесном хозяйстве. Поэтому требуется мониторинг за состоянием лесных территорий, но мониторинг это комплексное, сложное и дорогостоящее мероприятие, которое нуждается в автоматизации, в том числе с использованием нейронных сетей. В данной статье рассмотрены применение свёрточных нейронных сетей и методов глубокого обучения в лесном хозяйстве для распознавания образов в решении поставленных задач.

**Ключевые слова.** Свёрточные нейронные сети, нейронные сети, лесное хозяйство, нейронные сети в лесном хозяйстве, СНС.

Проблемы пожарной безопасности и защита леса от распространения вредителей и болезней всегда остро стояли в лесном хозяйстве. Убедительными примерами данной проблемы являются лесные пожары в центральной России в 2010 г., пожарная катастрофа в Хакасии и катастрофические пожары на природных территориях в Амурской области в 2015 г., торфяные пожары в Московской, Тверской и Брянской областях, потеря практически всех спелых и перестойных ельников в Московской области в 2010–2015 гг. из-за размножения короеда типографа *Ips typographus* (L.), массовая гибель насаждений ясеня из-за распространения инвазионных видов изумрудной ясеновой узкотелой златки *Agrilus planipennis* (Fairm.) и пихты уссурийский полиграф *Polygraphus proximus* (Blandf.), а также целый ряд других катастрофических событий, приведших к массовой гибели древостоев, стали резонансными событиями [2, 3, 4, 5]. Поэтому требуется мониторинг за состоянием лесных территорий, но мониторинг это комплексное, сложное и дорогостоящее мероприятие, которое нуждается в автоматизации, в том числе с использованием нейронных сетей.

Для решения проблемы мониторинга пихтовых лесов Зауралья, Южной Сибири и Байкальского региона уже применяется сегментация крон деревьев пихты сибирской, поврежденных насекомым-вредителем уссурийским полиграфом. В рамках решения данных задач предложены модели свёрточных нейронных сетей (СНС), основанные на базовых архитектурах нейросетей SegNet и U-Net. Полученные результаты сегментации крон деревьев пихты по цифровым изображениям, снятые беспилотными летательными аппаратами, позволяют выделить нейросети SegNet и U-Net, как перспективные модели для решения поставленной в работе задачи (рис. 1) [1, 13].



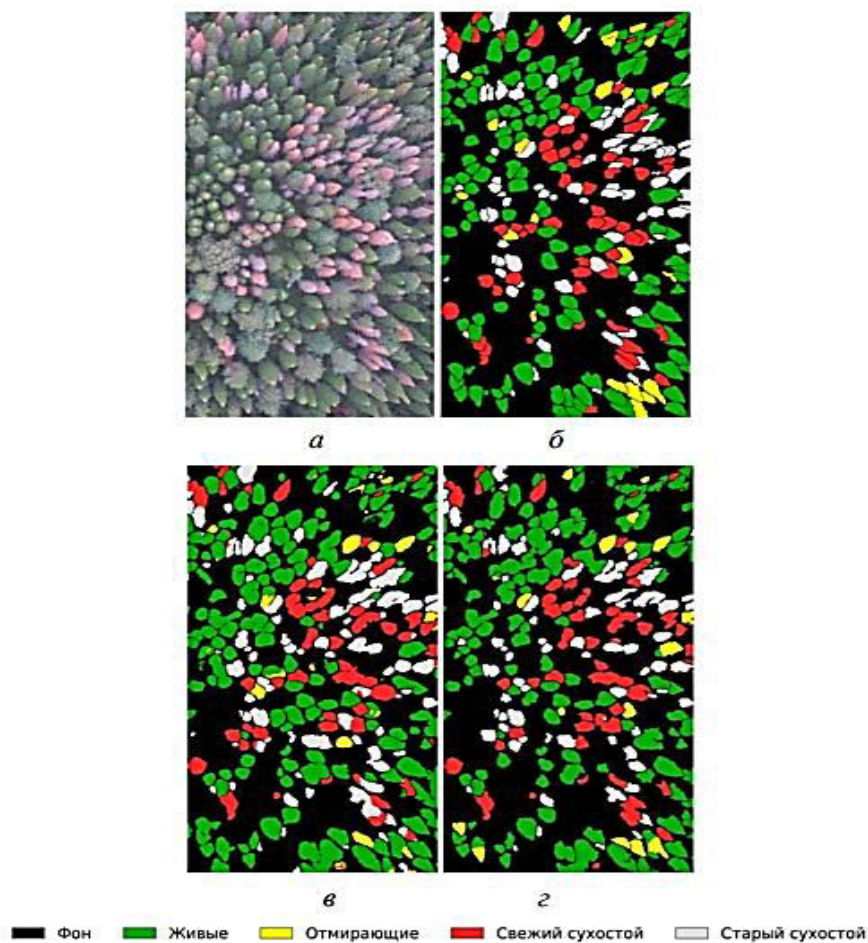


Рисунок 1. Результаты семантической сегментации: а – тестовый участок; б – эталонный результат; в – результаты сегментации с помощью нейросети SegNet; г – результаты сегментации с помощью нейросети U-Net

Для оперативного прогнозирования динамики распространения лесных пожаров уже разрабатывали приложения и рассматривалось использование современных инфокоммуникационных, сетевых и Web-технологий в лесном хозяйстве, но без применения нейронных сетей [6, 8, 12, 14, 15].

В настоящее время уже существуют и эффективно применяются как модели прогнозирования возникновения лесных пожаров, так и модели прогнозирования динамики развития пожаров на базе нейросетевых технологий [9, 10]. Но следует отметить ряд существующих недостатков, заключающихся в сложности сбора достаточного количества обучающих примеров при подготовке тестового и обучающего наборов данных, сложность и трудоемкость построения архитектуры сети, а также процедура обучения сети требует продолжительные затраты времени. Учитывая вышеизложенные недостатки, в рамках решения задачи повышения эффективности оперативного прогнозирования динамики распространения лесных пожаров разработан эффективный метод оперативного прогнозирования динамики лесных пожаров в условиях нестационарности и неопределенности с использованием СНС (рис. 2) [7].

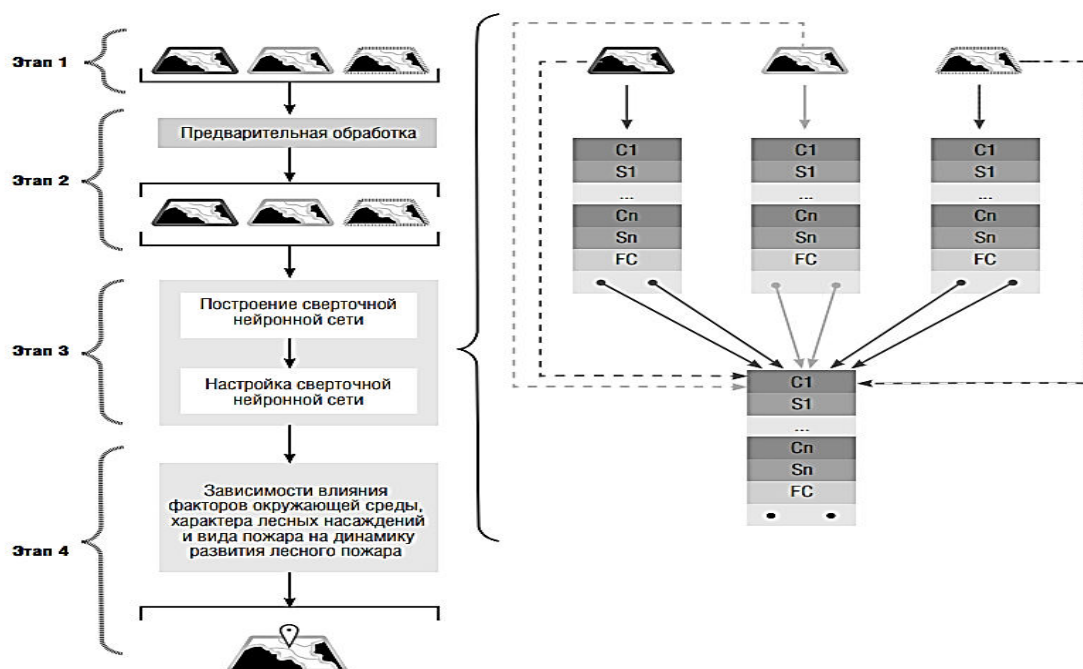


Рисунок 2. Общая логическая схема метода оперативного прогнозирования динамики лесных пожаров (C1, Cn –слои вестки; S1, Sn – субдискретизирующие слои; FS – полносвязный слой)

Также в 2020 году предложена новая методика обнаружения лесных пожаров на основе анализа спутниковых данных с использованием глубокого обучения на уровне пиксельной точности по принципу построения эффективной СНС модели, где экспериментальные оценки показывают высокую эффективность данного подхода с точностью обнаружения 94 % [16]. А уже в 2021 представлена система анализа изменений лесного массива Земли за определенный период времени по космическим изображениям с использованием СНС и методов глубокого обучения. Система протестирована на космических снимках части России за разные периоды и показала 85% точность распознавания снимков для этих данных [17].

На этом применение СНС в лесном хозяйстве не ограничивается, сейчас рассматриваются перспективы использования СНС в лесотаксационном дешифрировании, что позволит в дальнейшем обеспечить высокую точность определения таксационных характеристик в автоматическом режиме и проводить лесоустроительные работы без серьезных затрат на натурные обследования [11].

СНС могут быть использованы для сегментации кроны деревьев пихты по цифровым изображениям, снятых беспилотными летательными аппаратами; эффективного и оперативного прогнозирования динамики лесных пожаров в условиях нестационарности и неопределенности; обнаружения лесных пожаров на основе анализа спутниковых данных с использованием глубокого обучения; систем анализа изменений лесного массива Земли за определенный период времени по космическим изображениям. Подобные возможности применения СНС и методов глубокого обучения позволяют говорить об их высокой эффективности и новых перспективах развития СНС в лесном хозяйстве для распознавания образов в решении поставленных задач.

### Список литературы

1. Марков, Н. Г. Семантическая сегментация крон деревьев пихты на снимках с БПЛА / Н. Г. Марков, К. А. Маслов, О. С. Токарева // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС-26-2020) : 26-я международная научно-практическая конференция, Томск, 24 ноября 2020 года. – Томск: Издательство Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники, 2020. – С. 56-60.
2. Баранчиков ЮН, Петько ВМ, Астапенко СА, Акулов ЕН, Кривец СА. Уссурийский полиграф – новый агрессивный вредитель пихты в Сибири. Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2011;80(4):78-81.
3. Волкович МГ, Мозолевская ЕГ. Десятилетний «юбилей» инвазии ясеновой изумрудной узкотелой златки *Agrius planipennis* Fairm. (Coleoptera: Vuprestidae) в России: итоги и перспективы. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2014;207:41-54.
4. Кривец СА, Бисирова ЭМ, Пац ЕН, Чернова НА. Популяционные характеристики и влияние уссурийского полиграфа *Polygraphus proximus* Blandf. на состояние пихтовых лесов Северо-Восточного Алтая. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2014;207:8-21.
5. Вакуров АД. Лесные пожары на Севере. Москва: Наука; 1975.
6. Бойцов, А. К. Применение инфокоммуникационных и web- технологий для прогнозирования распространения лесных пожаров / А. К. Бойцов, А. А. Логачев // Цифровые технологии в лесном секторе: материалы Всероссийской научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 26–27 марта 2020 года / Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург: Политех-Пресс, 2020. – С. 23-25.
7. Станкевич, Т. С. Применение сверточных нейронных сетей для решения задачи оперативного прогнозирования динамики распространения лесных пожаров / Т. С. Станкевич // Бизнес-информатика. – 2018. – № 4(46). – С. 17-27. – DOI 10.17323/1998-0663.2018.4.17.27.
8. Sullivan A.L. Wildland surface fire spread modelling, 1990–2007. 1: Physical and quasi-physical models // International Journal of Wildland Fire. 2009. No. 18. P. 349–368.
9. [Graf R.](#) A forest-fire model on the upper half-plane // [Electronic Journal of Probability](#). 2014. No. 19. P. 1-27. [Электронный ресурс]: [https://projecteuclid.org/download/pdf\\_1/euclid.ejp/1465065650](https://projecteuclid.org/download/pdf_1/euclid.ejp/1465065650) (дата обращения 2.06.2021).
10. [Lawson B.D.](#), [Armitage O.B.](#), [Hoskins W.D.](#) Diurnal variation in the Fine Fuel Moisture Code: Tables and computer source code // FRDA Report 245. Victoria, B.C.: Canadian Forest Service, Pacific Forestry Center, 1996. [Электронный ресурс]: <https://www.for.gov.bc.ca/hfd/pubs/Docs/Frr/FRR245.pdf> (дата обращения 2.06.2021).
11. Малышев, Д. О. Перспективы использования свёрточных нейронных сетей в лесотаксационном дешифрировании / Д. О. Малышев, И. А. Смирнов // Современные проблемы и инновационные технологии в лесном хозяйстве : Материалы научно-

практической конференции, посвященной 20-летию лесного образования в НовГУ имени Ярослава Мудрого, Великий Новгород, 22–23 ноября 2018 года. – Великий Новгород: Новгородский государственный университет имени Ярослава Мудрого, 2018. – С. 41-43.

12. Бойцов, А. К. Современные беспроводные технологии в лесном хозяйстве / А. К. Бойцов, С. П. Хабаров // Актуальные вопросы в лесном хозяйстве : Материалы III международной научно-практической конференции молодых ученых, Санкт-Петербург, 06–08 ноября 2019 года. – Санкт-Петербург: Полиграф-Экспресс, 2019. – С. 138-141.

13. Сверточная нейронная сеть для сегментации пораженных деревьев пихты на снимках с беспилотных летательных аппаратов / Н. Г. Марков, К. А. Маслов, И. А. Керчев, О. С. Токарева // Региональные проблемы дистанционного зондирования земли : Материалы VII Международной научной конференции, Красноярск, 29 сентября – 02 октября 2020 года / Сибирский федеральный университет, Институт космических и информационных технологий. – Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2020. – С. 102-105.

14. Бойцов, А. К. Определение микробиологических параметров лесных объектов по их графическим файлам на примере клеточного строения сосны сибирской (*Pinus sibirica*) и ивы ломкой (*Salix fragilis*) / А. К. Бойцов, Н. В. Лушкин, Н. Б. Смелова // Информационные системы и технологии: теория и практика : Сборник научных трудов, Санкт-Петербург, 23 марта 2020 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 2020. – С. 3-6.

15. Бойцов, А. К. Проблемы и пути решения применения RFID технологий в лесном хозяйстве / А. К. Бойцов, А. П. Потапов, А. С. Булатов // Информационные системы и технологии: теория и практика : сборник научных трудов, Санкт-Петербург, 24 февраля 2021 года / Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 2021. – С. 17-22.

16. Ямашкин, С. А. Повышение эффективности алгоритмов глубокого машинного обучения для раннего обнаружения и прогнозирования развития лесных пожаров / С. А. Ямашкин, Е. О. Ямашкина // Перспективы науки. – 2020. – № 9(132). – С. 58-60.

17. Голев, А. В. Система анализа изменений лесного массива с помощью нейронных сетей / А. В. Голев // Автоматизация в промышленности. – 2021. – № 1. – С. 46-49. – DOI 10.25728/avtprom.2021.01.08.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ СТАНДАРТА IEEE 802.15.4 В СРЕДЕ OMNeT++ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ INET Framework

Веретенникова К. С.

Научный руководитель: Хабаров С. П.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М.  
Кирова, Санкт-Петербург

*Аннотация.* В данной статье рассмотрен подход к моделированию беспроводных сенсорных сетей стандарта IEEE 802.15.4, с учетом применения специализированных MAC-протоколов управления доступом к среде. Произведен анализ результатов с учетом энергопотребления узлов.

*Ключевая слова:* сетевые технологии, беспроводные сенсорные сети, имитационное моделирование, среда OMNeT++, пакет INET Framework.

*Введение.* Проектирование любой современной информационной системы, имеющей сложную структуру и широкий набор используемых протоколов, всегда начинается с построения и исследования имитационной модели, которая позволяет обосновать топологию системы, выбрать сетевое оборудование, определить рабочих характеристик сети и возможное будущее развитие системы [1, 2]. Беспроводные сенсорные сети (WSN) – современная информационно-телекоммуникационная технология. Обладая возможностью широкого применения и простоты развертывания, они являются практически идеальными средством для мониторинга окружающей среды. [3]

Стандарт IEEE 802.15.4 – это технический стандарт, определяющий работу низкоскоростных беспроводных сетей. Он был разработан с целью обеспечения крайне длительного срока службы источника питания. Стандарт IEEE 802.15.4 определяет физический уровень и MAC для устройств с низкой скоростью передачи данных. Диапазон рабочих частот составляет 868 МГц, 915 МГц или 2,4 ГГц, а максимальная скорость передачи данных составляет 20, 40 или 250 кбит/с соответственно.

*Постановка задачи.* Объектом исследования является модель WSN (рис.1) и ее поведение при использовании различных MAC-протоколов. В рамках исследования использовалась модель, которая состояла из пяти беспроводных сенсорных узлов, из которых четыре выполняли роль сенсоров (sensor), а один шлюза (gateway). Еще один проводной узел играл роль сервера. Все узлы типа сенсор передают пакеты информации на шлюз, после чего тот транслирует полученные данные на сервер. При этом необходимо учитывать, что все беспроводные узлы имеют тип SensorNode, что включает в себя поддержку стандарта IEEE 802.15.4, а также встроенные подмодули хранения и потребления энергии (SensorStateBasedEpEnergyConsumer и IdealEpEnergyStorage, соответственно).

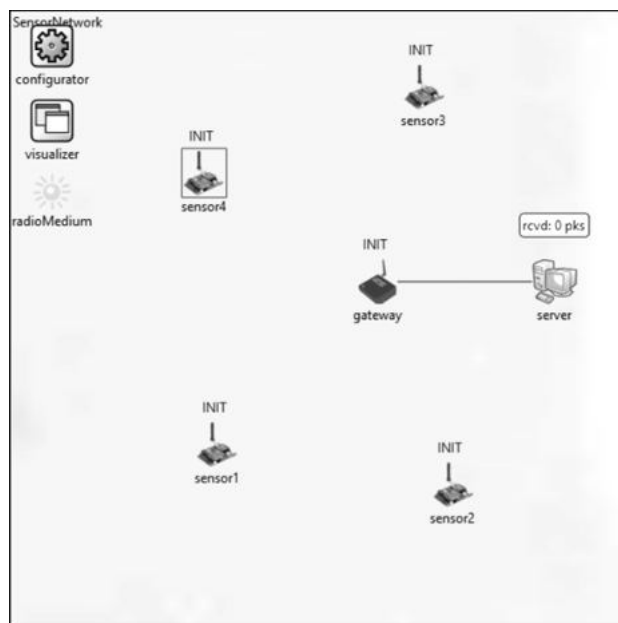


Рисунок 1. Структура модели беспроводной сенсорной сети

На основе экспериментов, проводимых на указанной модели, требуется произвести исследование и сравнительный анализ разных MAC протоколов, используемых в WSN, с учетом их энергопотребления. [4] В данной статье рассматриваются три типа протоколов: B-MAC, X-MAC и LMAC – их реализация присутствует в INET Framework [5,6,7].

*Методика и результаты.* Предварительно, в конфигурационном файле необходимо установить битрейт, который будет соответствовать протоколу уровня MAC. Устанавливаемый битрейт равен 19200 бит/с, для соответствия битрейту MAC уровня по умолчанию. Данный битрейт используется для всех трех исследуемых протоколов MAC.

Маршруты устанавливаются в соответствии со звездообразной топологией, а шлюз находится в центре. Каждый узел датчика будет отправлять на сервер пакет UDP с 10-байтовой полезной нагрузкой каждую секунду со случайным временем запуска около 1 с. Пакеты будут иметь 8-байтовый заголовок UDP и 20-байтовый заголовок IPv4, поэтому они будут иметь размер 38 байт на уровне MAC. Пакеты будут направлены через шлюз.

Так же для каждого из исследуемых протоколов в модели будет указан конкретный параметр беспроводного интерфейса. Так, для протокола B-MAC указан “BMac”, для X-MAC – “XMac”, для LMAC – “LMac”, соответственно. Для моделирования B-MAC выбрана произвольная продолжительность сна узлов, для X-MAC – произвольная продолжительность сна сенсорных узлов и шлюза, а для протокола LMAC – количество слотов и резервируемых слотов. Процесс моделирования дал следующими результаты:

1) В случае B-MAC фактически отправляет несколько более коротких сообщений. Все они просыпаются до окончания передачи сообщения. Когда узлы активны, все они получают и сообщение, и пакет данных на физическом уровне, после

чего шлюз отправляет его на сервер. Все узлы получают на физическом уровне пакет данных, вне зависимости того, предназначен он для них или нет (рис. 2).

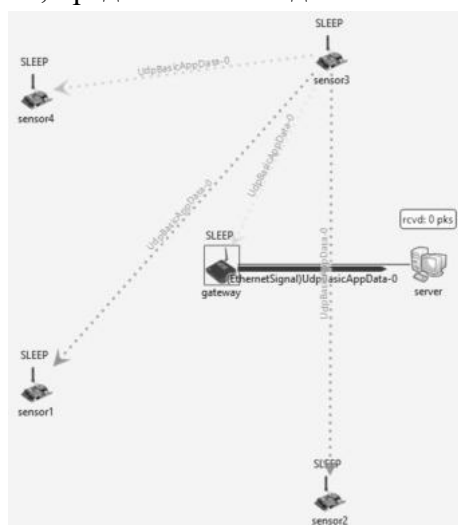


Рисунок 2. Результат моделирования V-MAC.

Все узлы получают на физическом уровне пакет данных, вне зависимости того, предназначен он для них или нет

2) При работе протокола X-MAC активный сенсор начинает отправлять сообщения соседним. Однако те, после принятия возвращаются в спящий режим, поскольку передача адресована шлюзу. Затем шлюз просыпается и отправляет подтверждение после получения одного из сообщений. Узел Sensor2 отправляет пакет данных, и шлюз пересылает его на сервер (рис. 3).

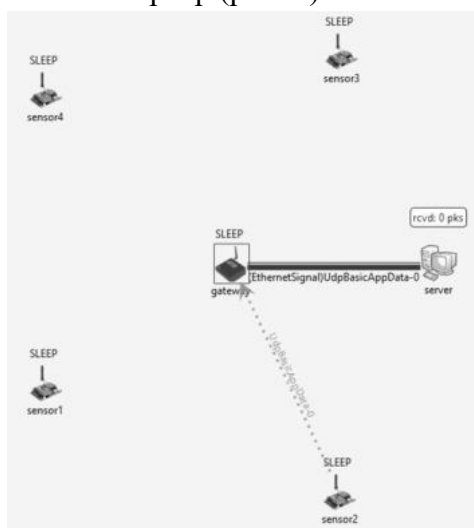


Рисунок 3. Результат моделирования X-MAC

3) При работе протокола LMAC каждый узел передает в своем собственном временном интервале. При этом узлы получают управляющее сообщение (обозначенное стрелками визуализатора физических связей), но только узел назначения получает пакет данных

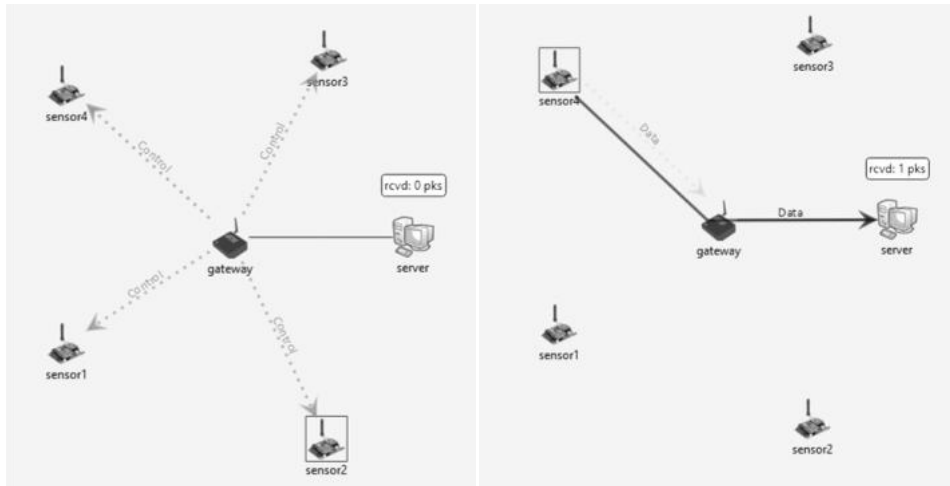


Рисунок 4. Моделирование протокола LMAC. а) все узлы получают управляющее сообщение; б) сервер получает пакет данных

Следующим этапом после моделирования, необходимо сравнить все три протокола MAC с точки зрения энергопотребления. Для сравнения протоколов были выбраны наилучшие параметры для каждого MAC, приводящие к наилучшей производительности сети в конкретном сценарии. Моделирование выполнялось в течение 100 секунд, в течение 10 итераций. При сравнении рассматривались следующие характеристики:

- Network total power consumption: Сумма энергопотребления четырех датчиков и шлюза (значения в джоулях).
- Packet loss: соотношение общего количества полученных пакетов и отправленных пакетов.

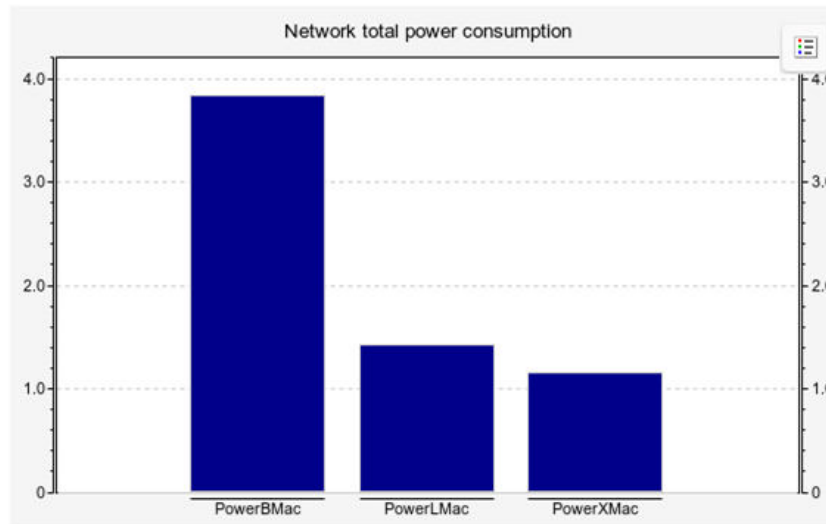


Рисунок 5. Диаграммы сравнения по сумме энергопотребления всех узлов;



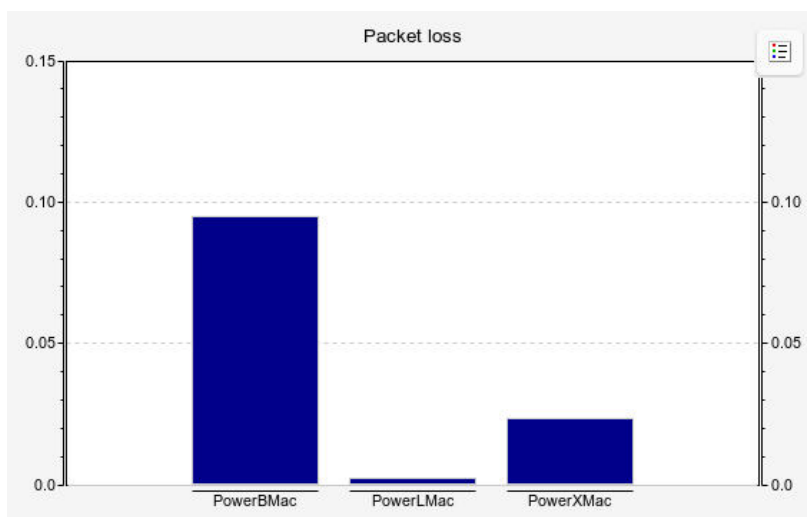


Рисунок 6. Диаграммы сравнения по общему количеству полученных/отправленных пакетов.

Из приведенных рисунков очевидно, что LMac переносил наибольшее количество пакетов, а B-Mac – наименьшее. При этом B-Mac потреблял значительно больше энергии, чем другие. Если принять во внимание, что все три протокола переносят около 90-100% всего трафика (B-Mac –90%, X-Mac – 99,25%, LMac – 97%). Таким образом, протокол B-Mac имеет значительно большее энергопотребление на пакет.

*Заключение.* В представленной работе рассмотрена задача моделирования и анализа беспроводных сенсорных сетей посредством средств графических сетевых симуляторов. Так же имитационное моделирование позволило произвести сравнительную оценку рассматриваемых протоколов и прийти к заключению о том, что наименее энергоэффективным из рассматриваемых протоколов является B-Mac.

#### Список литературы

1. Хабаров С.П. Моделирование Ethernet сетей в среде OMNeT++ INET framework // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2018. Т. 18. № 3. С. 462–472. doi: 10.17586/2226-1494-2018-18-3-462-472
2. Хабаров С.П. Основы моделирования беспроводных сетей в среде OMNeT++ : Учебное пособие для СПО. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 260 с.: ил. — ISBN 978-5-8114-6968-0
3. Веретенникова К.С., Хабаров С.П. Моделирование LoRaWAN сетей в среде OmNet++ с помощью фреймворков INET и FLoRA. // Цифровые технологии в лесном секторе/ материалы II Всероссийской наuchнотехнической конференции. / Под. ред. А.А. Добровольского. – СанктПетербург: СПбГЛТУ, 2021. – с. 47-49
4. Веретенникова К.С., Хабаров С.П. Анализ энергозатрат узлов беспроводной сети при использовании динамической маршрутизации. // В сборнике: Математические модели техники, технологий и экономики. Материалы Всероссийской научно-практической студенческой конференции. 2020. С. 123-127.

5. Polastre, Joseph & Hill, Jason & Culler, David. (2004). Versatile low power media access for sensor networks. SenSys'04 - Proceedings of the Second International Conference on Embedded Networked Sensor Systems. 1. 95-107. 10.1145/1031495.1031508.
6. Hoesel, L. & Havinga, Paul. (2004). A Lightweight Medium Access Protocol (LMAC) for Wireless Sensor Networks. INSS.
7. Buettner, Michael & Yee, Gary & Anderson, Eric & Han, Richard. (2006). X-MAC: A short preamble MAC protocol for duty-cycled wireless sensor networks. ACM Sensys. 4. 307-320. 10.1145/1182807.1182838.

## **ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РАБОТЕ КЛАССНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ**

**Грецкая А.Н.**

**Научный руководитель: Бронникова Л.М.**

*Алтайский Государственный Педагогический Университет, Барнаул*

*Аннотация.* В статье изучена роль информационных технологий в работе классного руководителя. Сделан акцент на эффективности использования компьютера в работе классного руководителя в процессе воспитательной работы. Выделены основные информационно-коммуникационные технологии в работе педагога, а так же, приведены примеры их использования. Выделены возможности Интернет-ресурсов, электронных образовательных ресурсов и компьютерных программ. Изучено влияние ИКТ-технологий на воспитательный процесс

*Ключевые слова:* Образование, инновационная деятельность, информационно-коммуникационные технологии, критерии эффективности, Интернет-ресурсы, электронные образовательные ресурсы.

В настоящее время одним из главных направлений в деятельности образовательных учреждений является воспитательная работа. Педагогический состав выполняет воспитательные функции в учебном заведении, однако, основная роль принадлежит педагогу. На него возлагается ответственность за воспитание подрастающего поколения [4, с. 261].

Национальный проект «Образование» усиливает роль классного руководителя в школе. Инновационная деятельность является приоритетным направлением в работе учителя. С помощью неё возможна работа, наполненная новым содержанием и новыми технологиями проектирования воспитательного процесса.

Актуальность и важность перехода работы классного руководителя на новый этап с применением технических средств обусловлена необходимостью внедрения личностно-ориентированного воспитания, предполагающее сотрудничество ученика и педагога [1, с. 192].

Рассмотрим критерии эффективности использования компьютера в работе классного руководителя в процессе воспитательной работы (рис 1.):

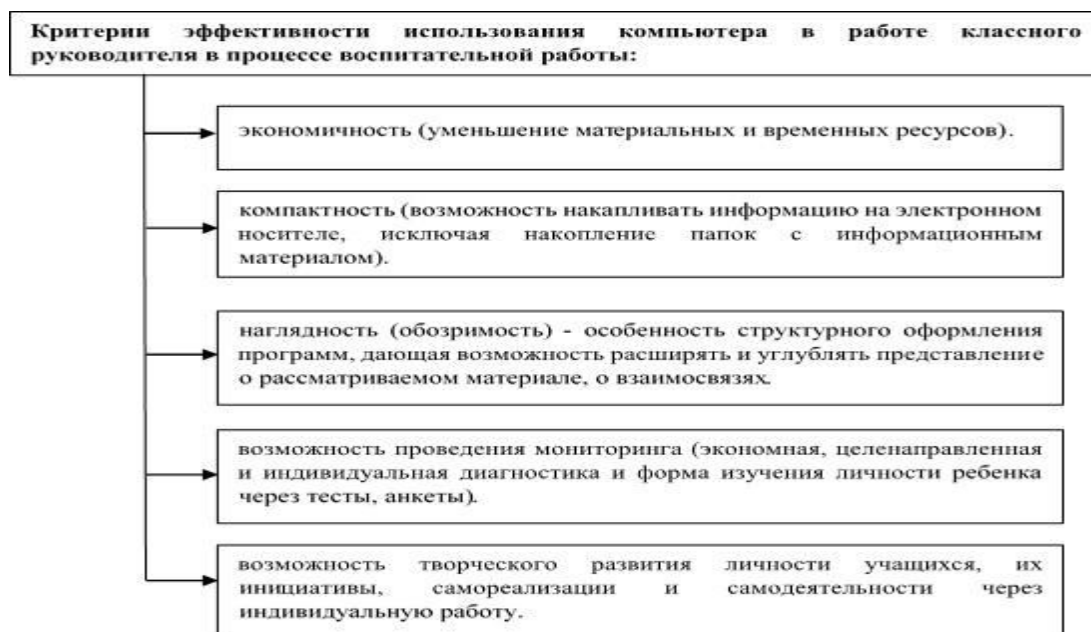


Рисунок 1. Критерии эффективности использования компьютера в работе классного руководителя в процессе воспитательной работы

В работе с классом педагог может использовать инструменты, предполагающие информационно-коммуникационные технологии, такие как [3, с. 37]:

- Интернет–ресурсы;
- Электронные образовательные ресурсы;
- Компьютерные программы.

При помощи Интернет-ресурсов возможно:

- Изучить и подготовить интернет-консультации (изучить информацию, касающуюся образовательного процесса и воспитанию детей);
- Онлайн дневники (доступ к быстрой связи с учениками и их родителями (законными представителями)).

При помощи электронных образовательных ресурсов возможно:

- Планирование и содержание деятельности классного руководителя;
- Диагностика, анализ, контроль;
- Документальное обеспечение;
- Материал для классных часов;
- Материал для родительского собрания;
- Сценарии мероприятий.

При помощи компьютерных программ возможно:

- Создать методические разработки воспитательного мероприятия, вести документацию и план воспитательной работы, анализировать собственные результаты, заполнять различные методические и учебные карты учеников – программа WORD;
- Составлять отчеты посещаемости и успеваемость, создать различные графики т.д – программа EXCEL;

- Создать наглядный материал для уроков, классных часов, консультаций, родительских собраний – программы GIMP, BLENDER, POWER POINT.

Использование ИКТ-технологий оптимизирует воспитательный процесс, вовлекая школьников как субъектов образовательного процесса, развивая у них самостоятельность. Творчество и критическое мышление [2, с. 154].

В деятельности классного руководителя для успешного и эффективного выполнения своих функций необходимо владеть психолого-педагогическими основами в работе с детьми конкретного возраста, владеть новейшими тенденциями воспитательной деятельности, а так же современными технологиями воспитания.

#### **Список литературы**

1. Бабанский, Ю.К. Проблемы повышения эффективности педагогических исследований /Ю.К. Бабанский. — Москва: 1982. — 192с.
2. Загвязинский, В. И. Педагогическое творчество учителя / В.И. Звягинский – Москва, 1987. – 154 с.
3. Махмутов, М.И. Современный урок. Вопросы теории / М.И. Махмутов. – Москва, 2002. – 37-40 с.
4. Петров, А.В. Развивающее обучение. Монография / А.В. Петров. – Челябинск: ЧГПУ "Факел", 1997. – 261 с.

## **ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧИТЕЛЯ**

**Грецкая А.Н**

**Научный руководитель: Бронникова Л.М.**

***Алтайский Государственный Педагогический Университет, Барнаул***

***Аннотация*** Изучено понятие «современный учитель» в рамках Российского образования. Акцентировано внимание на развитии системы образования. Рассмотрено влияние информационно-коммуникационных технологии в педагогической деятельности учителя. Изучено понятие «образовательная игра» как наиболее приемлемый и эффективный метод открытия нового знания и закрепления ранее изученного материала. Выделены основные онлайн конструкторы, применяемые на различных этапах обучения. Рассмотрены интернет-ресурсы: *LearningApps, Online Test Pad, Kahoot!*

***Ключевые слова:*** Современный учитель, ИКТ-технологии, онлайн конструктор, технические средства обучения, интернет-ресурсы.

В настоящее время, современный учитель – это личность, обладающая критическим мышлением, большим багажом знаний, творческими способностями, умеющая создавать новое, опираясь на новые методы и технологии обучения. Большинство педагогов считают, что креативные идеи и творческий подход являются залогом успеха в процессе обучения [2]. Применение и изучение информационно - коммуникационных технологий входит в нашу жизнь стремительно. Для

профессионального роста каждого учителя необходимо применять ИК-технологии, они помогают делать урок насыщенным, ярким, динамичным, способствует лучшему восприятию и познавательному интересу школьников, формирует информационную компетентность педагога [3].

В Российской Федерации развитию системы образования придается огромное значение. Повышение качества образования главная задача. И то, что математике уделяется особое внимание - неслучайно. Это ведущий предмет в школьном образовании. Ничто не развивает ребенка так, как математика. Ни для кого не секрет, что именно математика требует наибольшей концентрации и усидчивости учеников [1].

Зачастую, для педагогов является проблемой заинтересовать школьников, где и как найти мотивацию для изучения предмета. Если исходить из того, что современные дети получают информацию пользуясь смартфонами, компьютерами, то для поддержания мотивации детей, учителям необходимо пользоваться средой, которая окружает современных школьников. Собственный педагогический опыт позволяет сделать вывод, что в среде ИК– технологий безотказно работает именно игровая форма обучения. Для большинства учащихся образовательная игра является наиболее приемлемым и эффективным методом открытия нового знания и закрепления ранее изученного материала. Игра позволяет превратить урок в увлекательное развлечение [3]. В связи с тем, что развиваются технологии, в сети интернет появляются конструкторы для создания дидактических игр. Онлайн – конструкторы предоставляют возможность ученикам совмещать обучение и игру, их можно применять при дистанционной, смешанной, классно-урочной организации учебного процесса [1].

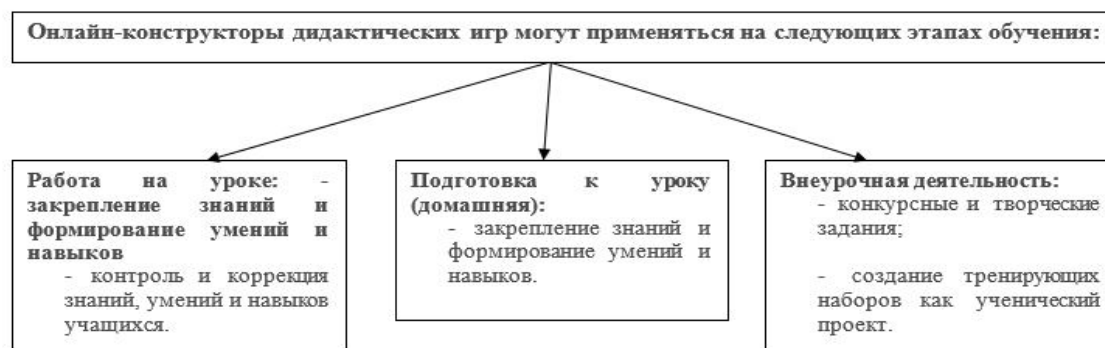


Рисунок 1. Онлайн-конструкторы дидактических игр

**Технические средства обучения, которые могут быть задействованы при работе с конструктором универсальных дидактических игр:**

- интерактивная доска;
- учительский компьютер с проекцией на экран;
- компьютеры в кабинете информатики;
- домашние компьютеры учащихся;
- мобильные устройства учащихся.

Выделим интернет-ресурсы **LearningApps, Online Test Pad, Kahoot!**, активно используемые при обучении математике.

**LearningApps.org** является бесплатным сервисом Web 2.0 для поддержки обучения и процесса преподавания. Данный сервис – это своего рода конструктор для создания интерактивных учебных модулей по разным предметным дисциплинам для применения на уроках и во внеклассной работе.

Сервис позволяет создавать собственные упражнения, задания, приложения, сохранять их в различных форматах, использовать готовые модули из библиотеки, свободно обмениваться информацией между пользователями, создавать классы и записывать туда учеников, организовывать работу обучающихся.

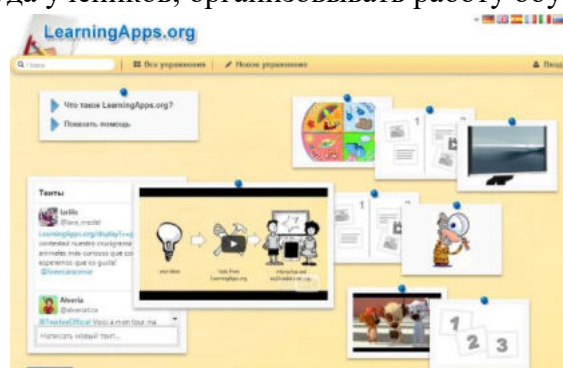


Рисунок 2. Интернет-ресурс **LearningApps**

**Online Test Pad** - многофункциональный веб-сервис, разработанный для создания опросников, кроссвордов, логических игр и комплексных заданий. Программа работает в вебе, поэтому доступна со всех современных устройств. Софт также предлагает создать мини-сайт - площадку, на которой можно организовать процесс тестирования учащихся.

Платформу можно использовать преподавателям для тестирования учеников и студентов, проведения экспресс-проверок уровня знаний, зачётов и контрольных работ. Опции создания онлайн-кроссворда могут быть использованы в развлекательных и личных целях.

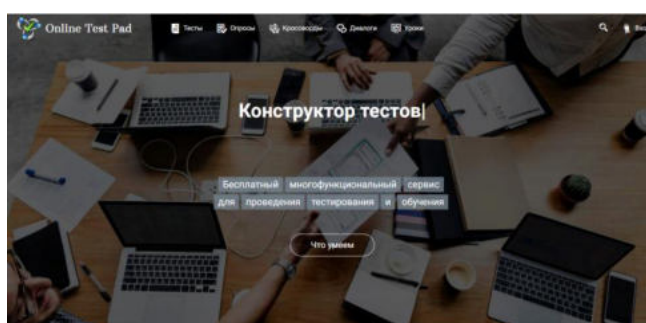


Рисунок 3. Интернет-ресурс **Online Test Pad**

В последнее время часто используют англоязычную обучающую игровую платформу **Kahoot!**, с помощью которой можно легко создавать викторины, которые принято называть Кахут. Кахут представляет собой задание, состоящее из серии вопросов с возможностью выбора правильного ответа. Каждый Кахут можно разнообразить, добавив какой-нибудь интерактивный элемент (видеофрагмент, изображение или диаграмму). Задавая критерии оценивания, в конце игры, учащиеся смогут увидеть на интерактивной доске в классе информацию о результатах. Кахут подойдет также для групповой формы работы, так как можно подключить неограниченное количество игроков, которые смогут запустить его на своем устройстве (мобильные телефоны,

компьютеры или планшеты). Учащиеся в строке браузера своего устройства вводят kahoot.it и после набора кода данной игры подключаются к игре.



Рисунок 4. Интернет-ресурс Kahoot!

Таким образом, можно сделать вывод о том, что использование онлайн-конструкторов в процессе обучения математике способствует усилению мотивации, развитию познавательного интереса, приводит к повышению качества образования, предоставляя возможность ученикам совмещать игру и обучение.

#### **Список литературы**

1. Асеев, А.Г. Мотивация поведения и формирования личности/А.Г. Асеев.- Москва: 1976. - 96 с.
2. Слостенин, В. А. Педагогика: инновационная деятельность / В.А. Слостенин, Л.С. Подымова.- Москва, 1997. - 197 с.
3. Фирсов, М.В. Студёнова Е.Г. Теория социальной работы/ М.В. Фирсов.-Москва: Гуманитарный издательский центр ВЛАДОС, 2001. - 384 с.

## **ВЛИЯНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОБРАЗОВАНИЕ**

**Заколпина А.Н.**

**Научный руководитель: Меньшикова А.А**

*Самарский национальный, исследовательский университет  
имени академика С. П. Королёва, Самара*

**Аннотация.** *В данной работе мною рассмотрена проблема модернизации учебного процесса на основе применения информационных технологий. Актуальность данной работы обусловлена тем, что в наше время фундаментальным достижением является появление информационных и интеллектуальных технологий, которыми пользуется каждый человек повседневно не смотря от рода деятельности. Время не стоит на месте, точно также как и развитие человечества.*

**Ключевые слова:** *учреждения высшего образования; оснащенность компьютерами; доступ в Интернет; пандемия; принятие удаленного формата.*

С каждым днем технологии масштабируются, и сфера образования не исключение.

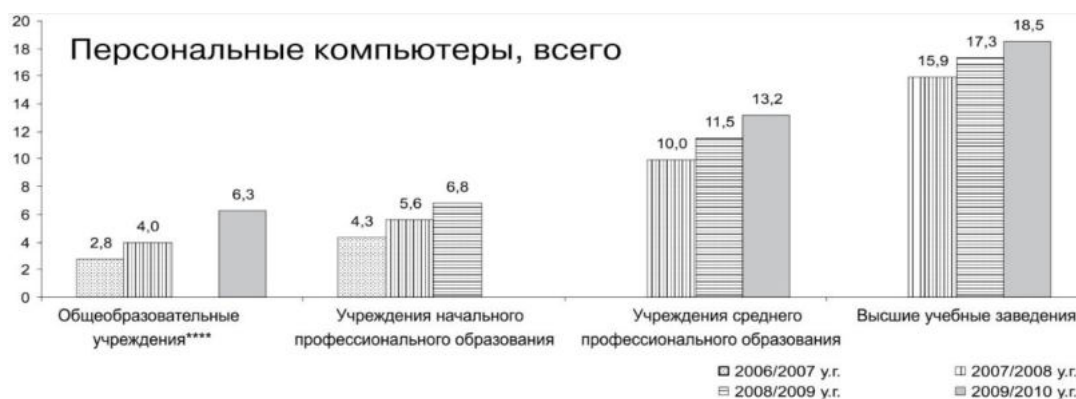


Рисунок 1. Количество персональных компьютеров, используемых в учебных целях, в расчете на 100 учащихся образовательных учреждений (на начало учебного года, единиц)

Компьютеризация обучения является современной тенденцией методики преподавания разных дисциплин. Данный подход оказывает значительное влияние на все аспекты современной образовательной системы: цели, задачи, содержание, методы, технологию.

Информационные технологии придают современный уровень, предоставляют огромные возможности для развития процесса образования.

Информационные технологии позволяют реализовывать принципы дифференцированного и индивидуального подхода к обучению. На занятии преподаватель дает возможность каждому обучаемому самостоятельно работать с учебной информацией, что позволяет ему детально разобрать новый материал по своей схеме. Есть возможность получать полноценные знания не только в форме обязательно посещаемых занятий – существует реальность опосредованное общение "ученик - компьютер - учитель" как в синхронном ("online"), так и в асинхронном режимах, а также виртуальный класс.

Необходимость в развитии и внедрении электронного обучения, его широкую перспективу определяют не только технические, психолого-педагогические, но и социальные факторы - открытость и доступность образования, в том числе и для социально незащищенных слоев населения, возможность получать образовательные услуги в любое время и в любом месте, возможность безболезненно менять профессию и т.п. Большое значение имеют и экономические предпосылки. Знание в современном обществе все в большей степени становится товаром и, как любой товар, требует хорошей «упаковки» и соответствующих способов распространения.

Весной 2020 года произошел прорыв, который повлек за собой переход к дистанционному обучению весь мир. Для всех нас это было что-то новое, но это сделало нас такими, какие мы есть сейчас. 1

Однако «тащить» и далее традиционную классно-урочную систему в ЭДО (обмен электронными документами), условно говоря «занятия с мелом и доской», перенося их с помощью ВКС (система видео-конференц-связи) в виртуальные классы - это все равно что «забивать гвозди микроскопом». Если общество будет относиться к электронным технологиям обучения всего лишь как к инструментам, то они не оправдают наших ожиданий, более того, негативные последствия их применения не



заставят себя долго ждать. О чем собственно и говорят многочисленные негативные отклики о первом опыте пандемийного ЭДО. Именно поэтому так важны разработка, исследование и грамотное внедрение новых эффективных методов обучения, адекватных современным технологическим средствам ЭДО.

Несмотря на заметный рост компьютерного парка во время и после пандемии, достигнутый уровень оснащения учащихся вычислительной техникой в России все еще ниже среднеевропейского. В странах ЕС на 100 учащихся приходится 11 персональных компьютеров, в том числе десять — с доступом в Интернет (табл. 1). При этом в Дании, которая является лидером по обеспеченности учащихся компьютерами в странах ЕС, эти показатели составляют соответственно 27 и 26 компьютеров. В России они не превышают 7 и 4 компьютера. Данное явление является основной проблемой, которая сопровождается при внедрении ИТ в образование.

Таблица 1. Количество персональных компьютеров в расчете на 100 учащихся образовательных учреждений по России и странам ЕС (ед)

	<b>Персональные компьютеры</b>	<b>В том числе с доступом в Интернет</b>
Россия	7,1	4,3
ЕС-27	11,4	10,0
Дания	27,3	26,3
Норвегия	24,2	22,7
Нидерланды	21,0	20,0
Люксембург	19,8	18,3
Великобритания	19,8	18,5

Активность в использовании Интернета в образовательных целях остается низкой: каждый четвертый преподаватель учреждений начального профессионального образования, треть школьных учителей и преподавателей средних профессиональных учебных заведений; лишь среди преподавателей вузов пользователей Интернета больше половины.

Информационные технологии помогают учащимся развиваться и получать навыки, которые не могут дать в школе. Таковыми являются: программирование, получение софт скиллов дистанционно, получать опыт в удаленных стажировках.

Проведя анализ того, как влияют информационные технологии в сфере образовании можно сделать вывод, что они превращают обучение в увлекательный процесс, способствуют развитию исследовательских навыков обучающихся при правильном использовании данных возможностей.

#### **Список литературы**

1. Кузьминов, Я.И., Фрумин И.Д. Российское образование: достижения, вызовы, перспективы/ Я.И.Кузьминов. Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Институт образования, 2019. Москва: Высшая Школа Экономики, 2019. – 320 с.
2. Соловов, А. В. Введение в проблематику электронного дистанционного обучения: учеб. пособие / А. В. Соловов ; Федер. агентство по образованию, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (СГАУ). - Самара : Изд-во СГАУ, 2007.

3. Красильникова, В.А. К 78 Использование информационных и коммуникационных технологий в образовании: учебное пособие / В.А. Красильникова; Оренбургский гос. ун-т. - 2-е изд. перераб. и дополн. - Оренбург: ОГУ, 2012. - 291 с.

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ НА ОСНОВЕ БАЙЕСОВСКОЙ СЕТИ ДОВЕРИЯ

Кострова А.А.

Научный руководитель: Хабаров С.П.

*Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет*

*им. С.М.Кирова, Санкт-Петербург*

*Аннотация.* Целью данной статьи является прогнозирование возникновения непредвиденных природных пожаров с использованием экспертных систем на основе байесовской сети доверия. В ходе изучения данной темы, по итогам анализа возможных факторов, влияющих на появление природных пожаров, был сделан вывод о возможных причинах возникновения возгорания для их дальнейшего предотвращения. В качестве среды разработки для прогнозирования использовалось приложение Hugin.

*Ключевые слова:* байесовские сети доверия, вероятность, прогнозирование, природные пожары.

**Введение.** Байесовская сеть доверия (БСД) – это инструмент графического моделирования, который объединяет знания о предметной области в сеть причин и следствий между ключевыми переменными. Для каждой переменной, связанной с причиной, используется вероятность, чтобы указать степень влияния одной переменной на другую.

БСД могут работать с несколькими источниками информации: историческими данными и более субъективными наблюдениями экспертов, а также другими данными, которые отсутствуют, являются неопределенными или сложными, но имеют ценное влияние на модель поддержки принятия решений. БСД не зависят от наличия всей информации о проблеме для ее эффективного моделирования. Все переменные в сети кодируются с вероятностью. Следовательно, БСД чрезвычайно полезны для моделирования сложных областей, в которых необходим надежный анализ, но где существует неопределенность.

Байесовская сетевая технология Hugin [1] автоматически компилирует и оценивает сетевую информацию для определения вероятности и определения наилучшего решения проблемы или ситуации.

**Постановка задачи.** БСД представляет собой направленный ациклический граф, содержащий вершины и связи между ними [2]. Вершины представляют собой случайные переменные, а связи – вероятностные зависимости, которые определяются через таблицы условных вероятностей. Для построения байесовской сети доверия необходимо определить вершины событий.

На появление природных пожаров влияют такие факторы как: время года, климат, количество выпадающих осадков, температура воздуха, рельеф, возраст леса,

антропогенные факторы (сжигание мусора, непотушенная сигарета, разведенные в неположенном месте костры), естественные причины (грозы, самовозгорание торфа) [3]. Взяв данные факторы за вершины, получим следующую БСД (Рис. 1.):

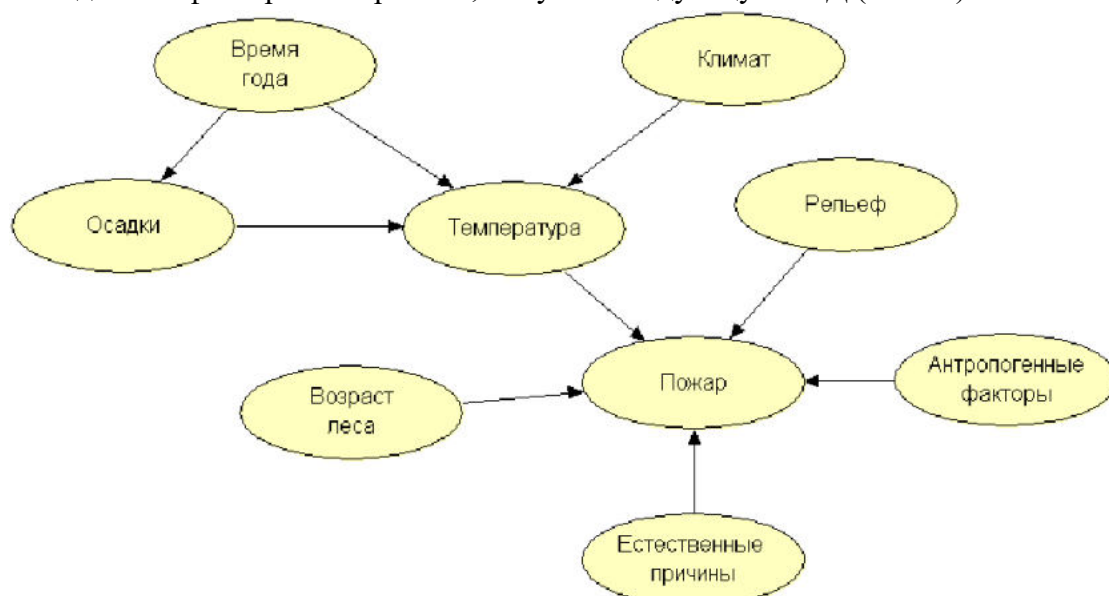


Рисунок 1. Байесовская сеть доверия

Каждая вершина имеет таблицу условных вероятностей, которую необходимо заполнить для получения полноценной БСД [4]. Рассмотрим таблицу вершины «Температура» в качестве примера (Рис. 2.):

Температура																
Осадки	ВыпадениеОсадков								ОсадковДавноНеБыло							
	Климат Сухой				Климат Влажный				Климат Сухой				Климат Влажный			
Климат	Зима		Весна		Лето		Осень		Зима		Весна		Лето		Осень	
Время года	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень	Зима	Весна	Лето	Осень
<0	0.8	0.3	0	0.1	0.7	0.2	0	0.15	0.9	0.15	0	0.1	0.95	0.1	0	0.15
0 - 20	0.2	0.6	0.5	0.7	0.3	0.6	0.55	0.65	0.1	0.7	0.2	0.65	0.05	0.75	0.15	0.75
>20	0	0.1	0.5	0.2	0	0.2	0.45	0.2	0	0.15	0.8	0.25	0	0.15	0.85	0.1

Рисунок 2. Таблица вероятности вершины «Температура»

Данная таблица показывает вероятность пребывания вершины «Температура» в определённом состоянии, обусловленном состоянием её родительских вершин «Осадки», «Климат», «Время года», поэтому данные вершины взяты в качестве названий столбцов. Значения условных вероятностей определены в соответствии с данными некоторой области, на которой необходимо прогнозировать появление природных пожаров.

**Результат исследований.** После заполнения таблиц условных вероятностей каждой вершины можно приступать к тестированию получившейся БСД, для этого необходимо перейти в режим вычислений. В случае, если на этапе заполнения таблиц не было допущено ошибок, программа успешно скомпилируется, и в окне появится список всех вершин во всех их возможных состояниях (Рис. 3а.).

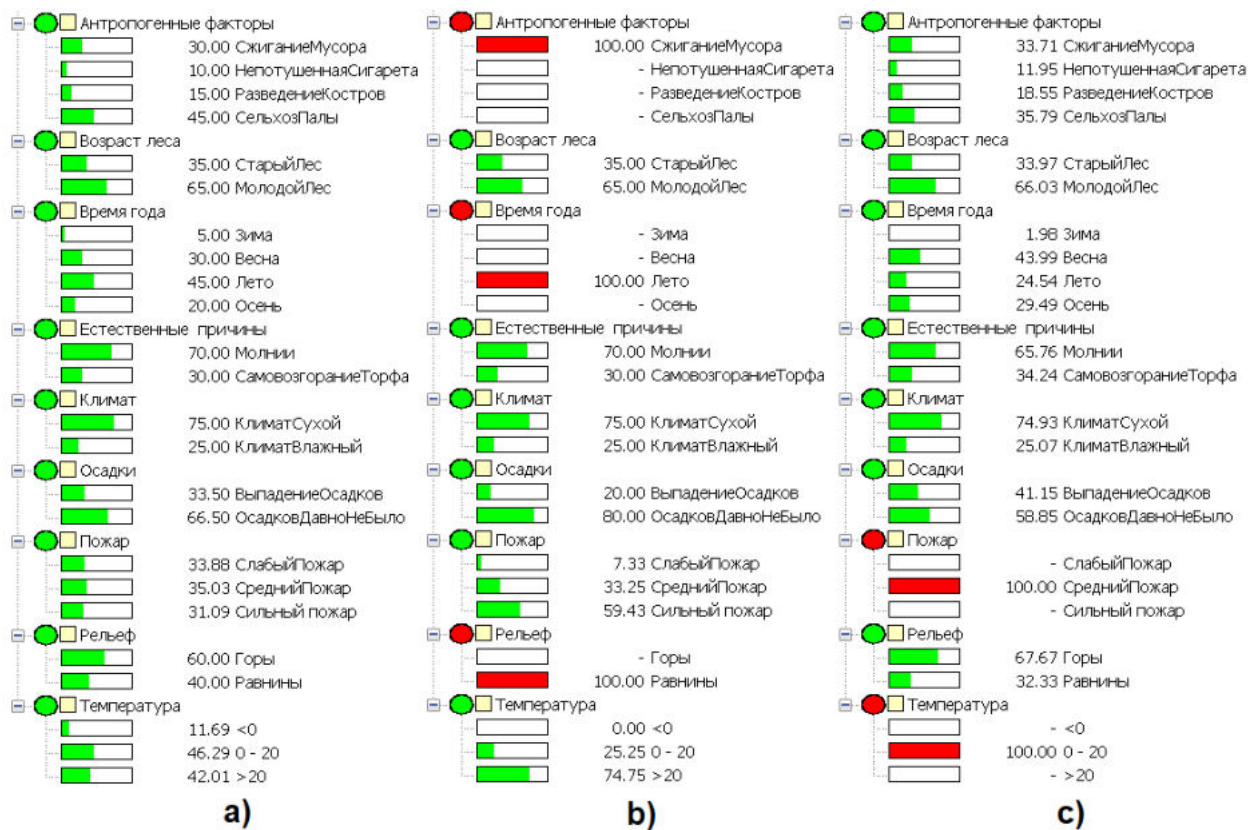


Рисунок 3. Результаты режима вычислений

Значения показателей «Осадки», «Температура» и «Пожар» были рассчитаны программой. Числа рядом с состояниями показывают процент вероятности этих состояний [5]. При условии, что из антропогенных факторов больше всего влияет проведение палов, на рассматриваемой территории преобладает молодой лес, вероятность возникновения пожара возможна больше всего летом, из естественных причин большее влияние оказывают молнии, в выбранной области преобладает сухой климат, осадков давно не было, преобладает горный рельеф и температура в диапазоне от 0 до 20°C, вероятность возникновения пожара любой степени приблизительно одинакова.

Предположим, необходимо узнать, вероятность возникновения пожара какой степени возможна летом при сжигании мусора при условии, что рельеф местности – равнина. Для этого зададим единичные вероятности для указанных параметров (Рис. 3.б). Будет произведен пересчет вероятностей во всех вершинах, по результатам которого можно сделать вывод, что с вероятностью 59,43% будет сильный пожар.

Одной из возможностей экспертных систем на основе БСД, является оценка графа в обратном направлении. Например, причинами возникновения среднего пожара при условии, что температура будет держаться в диапазоне от 0 до 20°C, являются сжигание костров и проведение сельхоз палов весной или осенью на горной территории произрастания молодого леса, в условиях сухого климата и долгого отсутствия осадков (Рис. 3.с).

**Заключение.** Данный подход показывает, что байесовские сети доверия можно использовать для моделирования ситуаций, которые характеризуются присущей им

неопределенностью. Эта неопределенность может быть вызвана несовершенным пониманием ситуации, неполным знанием состояния области в момент времени когда должна быть выполнена данная задача, случайностью в механизмах, управляющих поведением ситуации, или их комбинацией.

Уникальные возможности байесовских сетей и растущая потребность в разработке интеллектуальных высокопроизводительных решений, способных управлять неопределенностью, делают байесовские сетевые технологии ключевой технологией бизнес-аналитики будущего.

#### **Список литературы**

1. Hugin [Электронный ресурс] – URL: <http://www.hugin.com>
2. Хабаров, С.П. Интеллектуальные информационные системы [Электронный ресурс] / С.П. Хабаров. – Электрон. Текстовые дан. – Режим доступа: [http://www.habarov.spb.ru/new\\_es/index.htm](http://www.habarov.spb.ru/new_es/index.htm).
3. Смирнов, А. П. Лесная пирология: учебное пособие для студентов бакалавриата направления подготовки 35.03.01 «Лесное дело» / А. П. Смирнов, А. А. Смирнов. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018. – 140 с.
4. Каримов Б.М., Хабаров С.П., Пушкарева Л.Г. Разработка байесовской сети доверия по диагностике работоспособности компьютера в среде Hugin/ Математические модели техники, технологий и экономики: материалы Всероссийской научно-практической студенческой конференции, Санкт-Петербург, 10 июня 2020 года/ Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург: Политех-Пресс, 2020. – С. 111-118.
5. Молодчий И.Н., Хабаров С.П., Прогнозирование осадков на основе байесовской сети доверия/ Математические модели техники, технологий и экономики: материалы Всероссийской научно-практической студенческой конференции, Санкт-Петербург, 10 июня 2020 года/ Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург: Политех-Пресс, 2020. – С. 90-96.

### **ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА СОРТИРОВОЧНЫХ СТАНЦИЯХ**

**Кудрявцев Д.С.**

**Научный руководитель: Юрьева Ю.С.**

*Сибирский Государственный Университет Путей Сообщения, Новосибирск*

**Аннотация.** *Статья посвящена применению искусственного интеллекта на сортировочных станциях. Для раскрытия темы кратко рассматривается классификация сортировочных станциях на примере сети РЖД, а также изучаются технологии с ИИ, применяемые на двух сортировочных станциях — Бейли-Ярд и Инская-сортировочная. В результате выделены различные виды сортировочных станций, были сравнены технологии, основанные на ИИ на примере двух сортировочных станций. Сделаны выводы о высокой эффективности и больших перспективах ИИ на сортировочных станциях.*

*Ключевые слова: сортировочная станция, железная дорога, искусственный интеллект, технологии.*

Вместе с распространением и совершенствованием железнодорожного транспорта увеличилось не только количество эксплуатируемых локомотивов, но и объем выполняемых пассажирских и грузовых перевозок — результатом стала перегруженность транспортных маршрутов, что также привело к увеличению износа железных дорог, подвижного состава и другим проблемам. В связи с этим вопрос автоматизации технологических процессов становится все более актуальным. На данный момент любая крупная сортировочная станция сложна и не может обойтись без внедрения и использования современных технологий, в частности искусственного интеллекта

Сортировочная станция — это техническая железнодорожная станция, предназначенная для расформирования и формирования различных категорий поездов в соответствии с планом формирования отдельных вагонов, выполнения операций по пропуску транзитных поездов без обработки, технического обслуживания и коммерческого осмотра составов поездов и устранения выявленных неисправностей вагонов, смены локомотивов и локомотивных бригад [1].

Рассмотрим классификацию сортировочных станций на примере Российских железных дорог. По объему и характеру работ различают основные (опорные) и районные сортировочные станции. Основные сортировочные станции обрабатывают более 3000 вагонов в день и оснащены механизированными горками. Район обрабатывает от 1500 до 3000 вагонов в день. В зависимости от типа сортировочных устройств различают горочные станции, оснащенные сортировочными горками большой, средней или малой мощности, и безгорочные станции, на которых расположены вытяжные пути.

В зависимости от числа сортировочных комплексов бывают односторонние (однокомплектные), на которых в одной системе перерабатываются вагонопотоки всех примыкающих направлений, и двусторонние (двухкомплектные), на которых одна система парков работает в нечетном, а другая - в четном направлении [2].

К основным относятся сортировочные станции, перерабатывающие свыше 3000 вагонов в сутки, оборудованные механизированными горками и формирующие сквозные поезда назначением на другие основные сортировочные станции.

К районным относятся сортировочные станции, перерабатывающие от 1500 до 3000 вагонов в сутки и формирующие, как правило, сквозные поезда на ближайшие сортировочные станции.



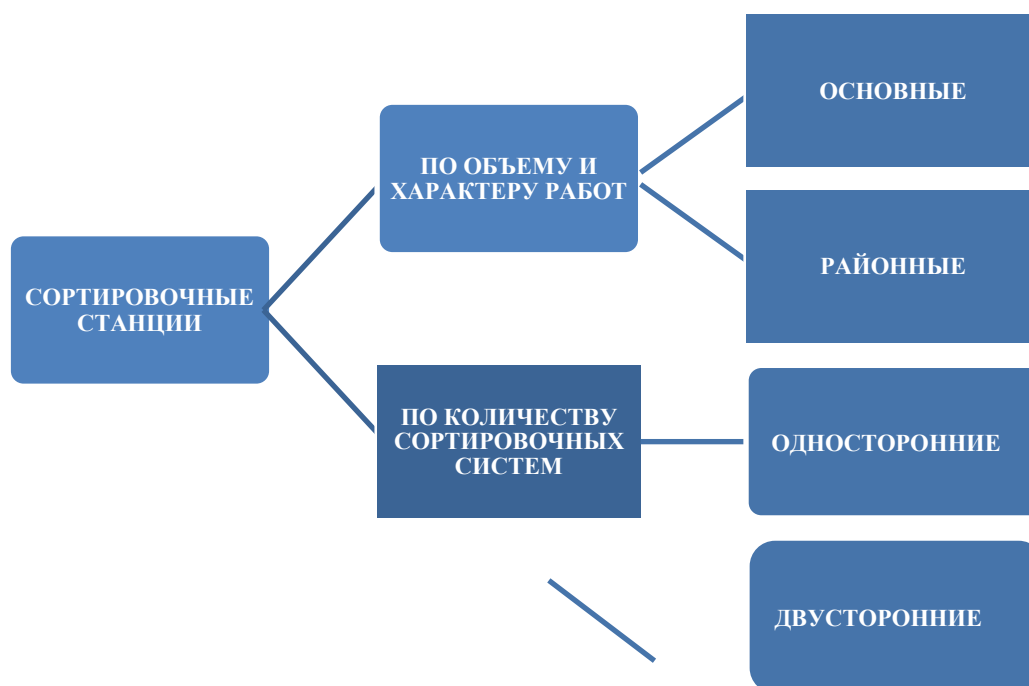


Рисунок 1. Классификация сортировочных станций  
(по объему и характеру работ, по количеству сортировочных систем, на примере РЖД)

Как видно из рис.1, сортировочные станции довольно сложны и многообразны. Некоторые из них требуют большого количества ресурсов для обработки поездов. И выход в таких случаях — возможности применения искусственного интеллекта (ИИ).

Далее мы рассмотрим две крупные сортировочные станции - российскую и американскую. Объектами сравнения нами были выбраны Инская-сортировочная станция (Российские железные дороги) и Бейли-Ярд (Bailey Yard; Union Pacific)

Бейли-Ярд — это крупнейшая в мире сортировочная станция, расположенная в Норт-Платте, штат Небраска, США.

Железнодорожная станция Инская-сортировочная станция, расположенная в Первомайском городском округе Новосибирска, Россия, относящаяся к Западно-Сибирскому филиалу РЖД. Это одна из крупнейших сортировочных верфей в России.

В таблице 1 представлен сравнительный анализ данных станций по следующим критериям: количество обработанных вагонов, площадь, общая длина путей и количество путей.

Таблица 1. Сравнительный анализ сортировочных железнодорожных станций  
(на примере Инской-сортировочной и Бейли-Ярда)

Критерий	Бейли-Ярд	Инская
Количество обработанных вагонов	14,000	27,000

Площадь	11,5 км <sup>2</sup>	800,000 м <sup>2</sup>
Общая длина путей	507 км	189 км
Количество путей	200 (3)	164 (4)

Из таблицы 1 следует что, несмотря на большую территорию станции Бейли-Ярд и ее количественное превосходство по железнодорожным путям, она все же уступает станции Инская по количеству обработанных вагонов. Двадцать семь тысяч в "Инской" против четырнадцати тысяч в Бейли-ярде.

Но при этом каждая из этих станций активно внедряет искусственный интеллект для более эффективной организации процессов перевозок.

Так, на сортировочной станции "Инская" используется ICP (интерактивная панель управления) — программно-аппаратный комплекс, состоящий из нескольких промышленных компьютеров с сенсорным экраном.

Информационно-управляющая система PROYARD установлена на складе для оптимизации процесса сортировки и минимизации повреждений вагонов в Бейли-Ярд. По прибытии вагонов на сортировочную станцию устройства автоматической системы идентификации считывают данные с маркеров вагонов, которые система PROYARD сравнивает с данными, полученными от транспортной службы, подтверждая или исправляя их [3].

Внедрение интерактивной слайд-панели на станции Инская управления позволит оптимизировать штат оперативных работников для перехода к управлению расформированием вагонов в одном лице (ранее было два человека-дежурный и оператор), минимизировать ручное вмешательство в процесс расформирования поездов, а также автоматизировать маневровые движения.

Использование интерактивного пульта дистанционного управления повысит безопасность сортировочной горки, так как будет запрещено движение по рельсам при наличии заметок о проделанной работе, а также при нахождении на путях локомотивов или вагонов с опасным грузом.

Система PROYARD на Бейли-Ярд оснащена датчиками, которые считывают ходовые характеристики автомобилей. Он определяет тормозную мощность замедлителей трех положений торможения, которая необходима для обеспечения оптимальной скорости отдачи отцепов, что исключает преждевременную остановку спускающегося автомобиля или повреждение груза при его столкновении со стоящим автомобилем на недопустимо высокой скорости.

Внедрение системы PROYARD сократило количество нарушений скоростного режима на 90%. За 15 лет количество схода с рельсов сократилось на 60%.



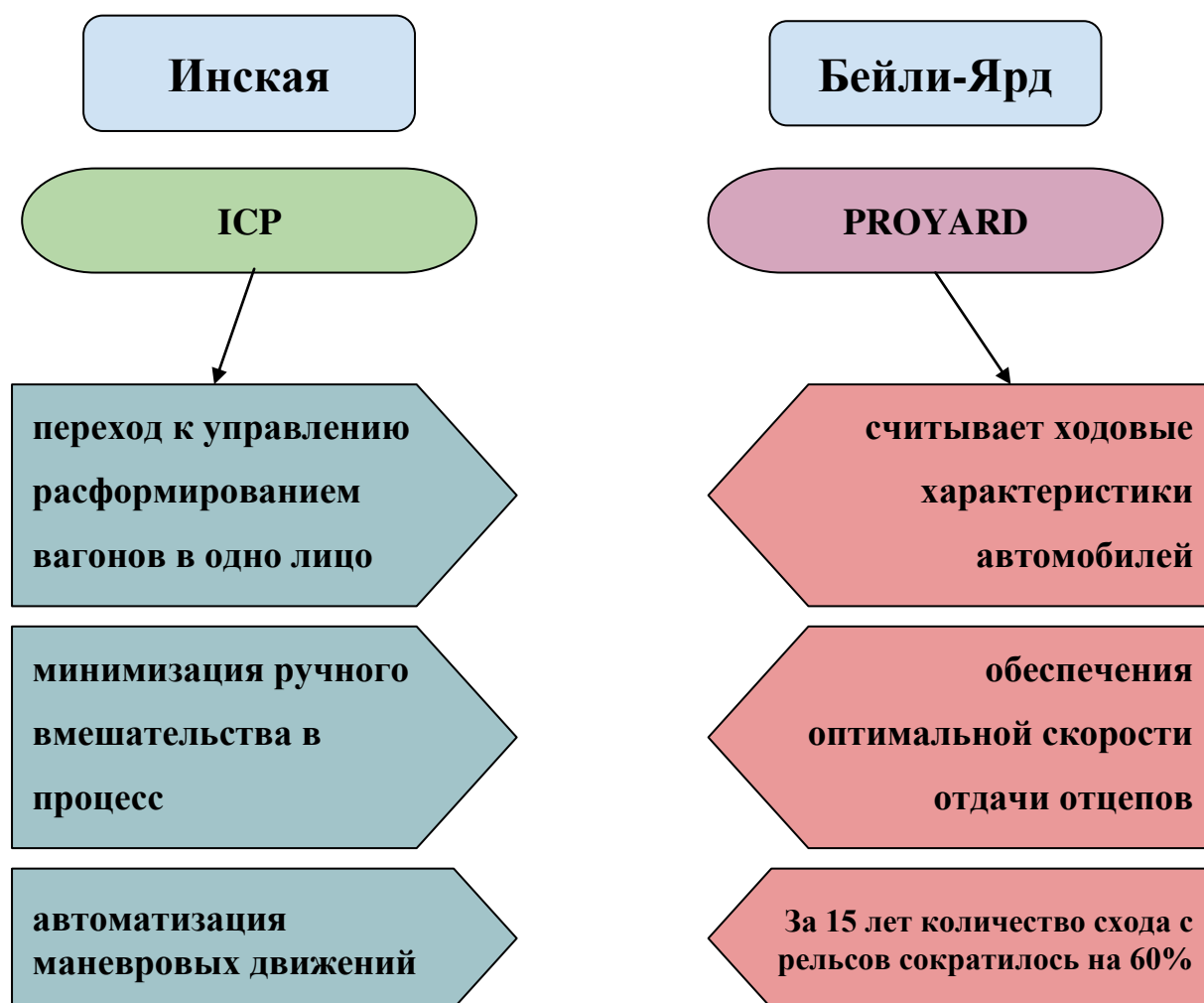


Рисунок 2. Применение технологий с ИИ на сортировочных станциях  
(на примере Инской-сортировочной и Бейли-Ярда)

Данные, представленные на рис.2, позволяют сделать следующий вывод: из-за индивидуальных особенностей каждой станции технологии, связанные с применением ИИ, различны. Стоит отметить, что технологический потенциал развития системы PROYARD (Бейли-Ярд), определенно, значительно превосходит эти же возможности на сортировочной станции "Инская". Однако, в то же время рассмотренные интеграции с ИИ нельзя объективно сравнить, поскольку они выполняют разные задачи в соответствии с разными условиями.

Таким образом, применение искусственного интеллекта, несомненно, оказывает положительное влияние на эффективность и безопасность сортировочных станций

#### Список литературы

1. Григорьев, В. В. Сортировочные станции : учеб.-метод. пособие / В. В. Григорьев. — Екатеринбург: Изд -во УрГУПС, 2014. — 79, с.
2. Общий курс железных дорог / Ю. И. Ефименко, М. М. Уздин, В. И. Ковалев и др. — М.: Издательский центр «Академия», 2005.
3. <https://goldenspiketower.com/bailey-yard/>

## МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ РАБОЧЕГО ОРГАНА ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА МАНИПУЛЯТОРА

Синяева Д.А., Витлев К.А., Михайлов М.О.

Научный руководитель: Алексеева С.В.

*Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет*

*им. С. М. Кирова, Санкт-Петербург*

*Аннотация.* Первоочередной задачей любой промышленной робототехники является правильное позиционирование рабочего органа манипулятора. Основными способами теоретического взаимодействия с манипуляторами являются прямая и обратная задача кинематики (далее ПЗК и ОЗК). Пользуясь описанным в статье методом, можно наглядно убедиться в возможностях манипулятора до момента реализации на предприятии. Начальным и самым важным этапом работы является создание матриц перемещения каждого звена манипулятора.

**Ключевые слова:** кинематика, рабочий орган, манипулятор.

### Решение прямой задачи кинематики.

Решение прямой задачи кинематики заключается в нахождении положения рабочего органа манипулятора в пространстве по заданным перемещениям звеньев.

В основе решения лежит перемножение матриц преобразования. Структура матриц изображена на рисунке 1.

$$T = \left[ \begin{array}{ccc|c} 1 & 0 & 0 & 0; \\ 0 & 1 & 0 & 0; \\ 0 & 0 & 1 & 0; \\ \hline 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right];$$

1
2
3

Рисунок 6. Структура матрицы

1 - Отвечает за поворот

2 - Отвечает за линейное перемещение по осям

3 - Параметр определяющий среду манипулятора

Для вращения звеньев вокруг нужных осей используется первая часть матрицы:

Вращение вокруг оси Z

$$T_z = \begin{bmatrix} \cos\alpha & \sin\alpha & 0 & 0 \\ \sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Вращение вокруг оси Y

$$T_y = \begin{bmatrix} \cos b & 0 & \sin b & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin b & 0 & \cos b & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Вращение вокруг оси X

$$T_x = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos c & \sin c & 0 \\ 0 & \sin c & \cos c & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Вторая часть матрицы отвечает за линейное перемещение по осям. Здесь задается длина звеньев и линейное перемещение по осям. По остальным осям задаются нули, для корректной работы программы.

$$T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Для правильного проектирования манипулятора звенья требуется подставлять последовательно от первого звена, на котором держится весь манипулятор, до рабочего органа.

#### Решение обратной задачи кинематики.

Решением обратной задачи кинематики являются полученные углы поворота и линейные перемещения звеньев манипулятора, которые приведут рабочий орган в заданные координаты. Решение производится численным итерационным методом, который позволяет исключить неоднозначность и находить ответ с высокой точностью.

Для решения ОЗК необходимы уравнения текущих углов поворотов и линейного перемещения звеньев. Алгоритм определения текущих значений записывается в следующем виде:

$$\theta_i[j] = \theta_i[j-1] - \gamma_i \frac{\partial I}{\partial \theta_i},$$

где  $\gamma_i$  – итерационный коэффициент, влияющий на скорость и устойчивость вычислений.

Для манипулятора:

$$\theta_i[j] = \theta_i[j-1] - \gamma_i \left[ (xc - x_i) \frac{\partial x}{\partial \theta_i} + (yc - y_i) \frac{\partial y}{\partial \theta_i} + (zc - z_i) \frac{\partial z}{\partial \theta_i} \right] \quad (1)$$

Полученные уравнения необходимо продифференцировать для каждой оси по каждому заданному параметру угла и линейного перемещения.

Далее составляются уравнения, результатом которых станут значения углов поворотов и линейного перемещения звеньев и положения рабочего органа манипулятора в текущей итерации:

$$a = a + ga \cdot ((xc - x) \cdot dxa + (yc - y) \cdot dya + (zc - z) \cdot dza);$$

$$b = b + gb \cdot ((xc - x) \cdot dxb + (yc - y) \cdot dyb + (zc - z) \cdot dzb);$$

$$c = c + gc \cdot ((xc - x) \cdot dxc + (yc - y) \cdot dyc + (zc - z) \cdot dzc);$$

Необходимо найти  $a$ ,  $b$  и  $c$ , которые будут удовлетворять условию:

$$|Xm - Xt| < Ex \wedge |Ym - Yt| < Ey \wedge |Zm - Zt| < Ez \quad (2)$$

Для этого в коде программы составляется цикл While с условием выхода из него описанного выражением (2).

Сформулируем критерий оптимизации углов  $a, b, c$ :

$$I = \frac{1}{2} \cdot \left[ (X_c - X(\theta))^2 + (Y_c - Y(\theta))^2 + (Z_c - Z(\theta))^2 \right], \theta = (a, b, c)^T$$

Теперь задача сводится к определению таких значений углов, при которых критерий оптимизации  $I$  достигает минимума.

Для решения необходимо задать начальное приближение (начальные значения  $X_m, Y_m$  и  $Z_m$ ). Решение найдется для любого приближения, однако рекомендуется задавать его равным начальному положению захвата манипулятора.

Таким образом, решение обратной задачи кинематики сводится к изменению значений углов  $a, b, c$  согласно выражению (1) в цикле до тех пор, пока не выполнится условие (2). При этом во время каждого цикла необходимо решать прямую задачу кинематики для определения текущих значений координат  $X_t, Y_t, Z_t$  и их частных производных.

Обязательно необходимо проверить правильность решения ПЗК и ОЗК. Рекомендуется сделать это, получив координаты захвата, путем решения ПЗК для произвольного набора входных данных. Заданные углы и перемещения должны совпасть с рассчитанными в пределах небольшой погрешности.

#### **Работа с манипулятором.**

Для реализации ПЗК нужно определить длины звеньев и оси вращения нашего конечного манипулятора. На основании этого выстроить последовательность нужных осевых матриц с добавлением в них длин звеньев.

Для начала работы с теоретическим манипулятором нужно определить длины его звеньев и оси вращения. По заданным критериям спроектировать модель манипулятора в среде SolidWorks с нежесткой сцепкой звеньев. Примером в данной работе станет манипулятор на рисунке 2.

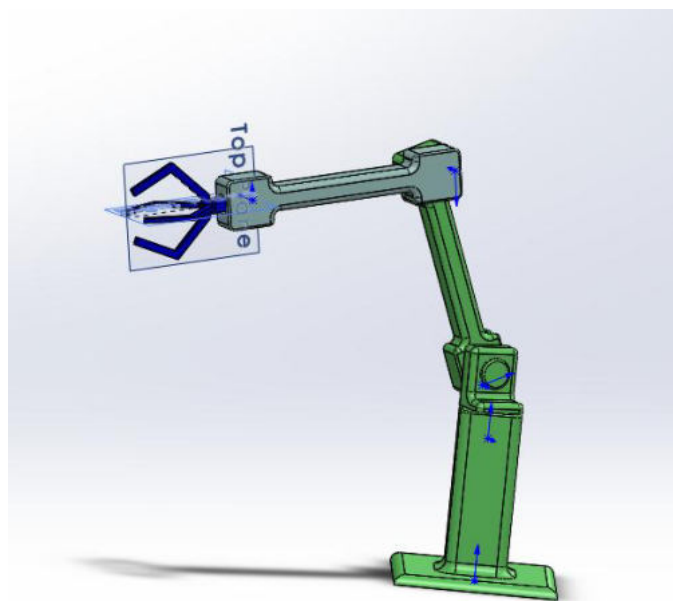


Рисунок 2. Готовая модель проектируемого робота.

Для того чтобы впоследствии можно было работать в движении с этой моделью в Matlab создается ПЗК полностью соответствующая данной модели (рисунок 3).

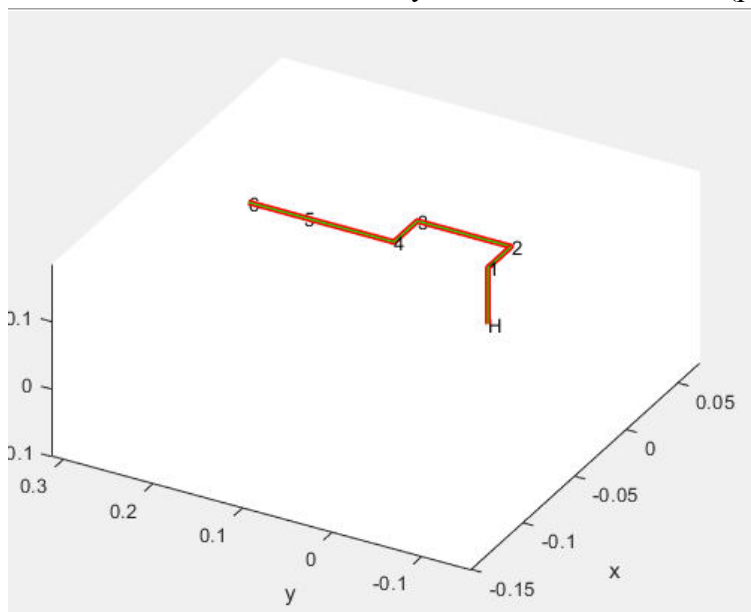


Рисунок 3. Решение ПЗК

Следующим шагом станет импорт модели в среду Simulink. Simulink является одной из подпрограмм Matlab. Для того, чтобы взаимодействовать с моделью нужно произвести энергетический расчет. Энергетический расчет нужен для получения максимальных моментов на разных звеньях, для подбора мотора и редуктора, с помощью которых и будет производиться перемещение звеньев. Чтобы произвести энергетический расчет в программе Matlab требуется задать управляющий сигнал и снять показания с осциллографа для каждого звена (рисунок 4).

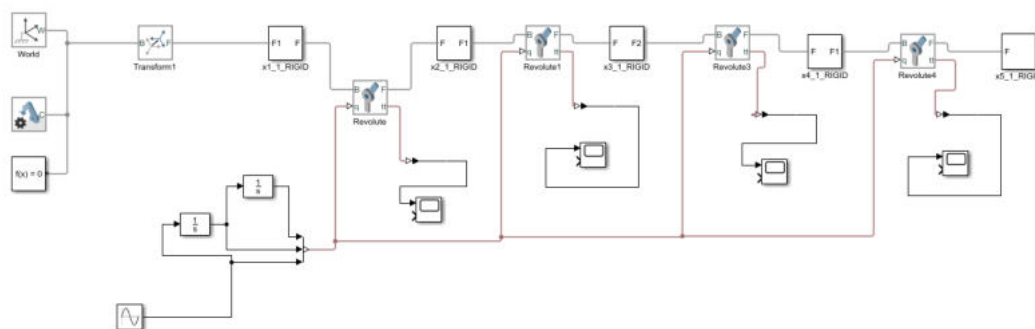


Рисунок 4. Схема энергетического расчета

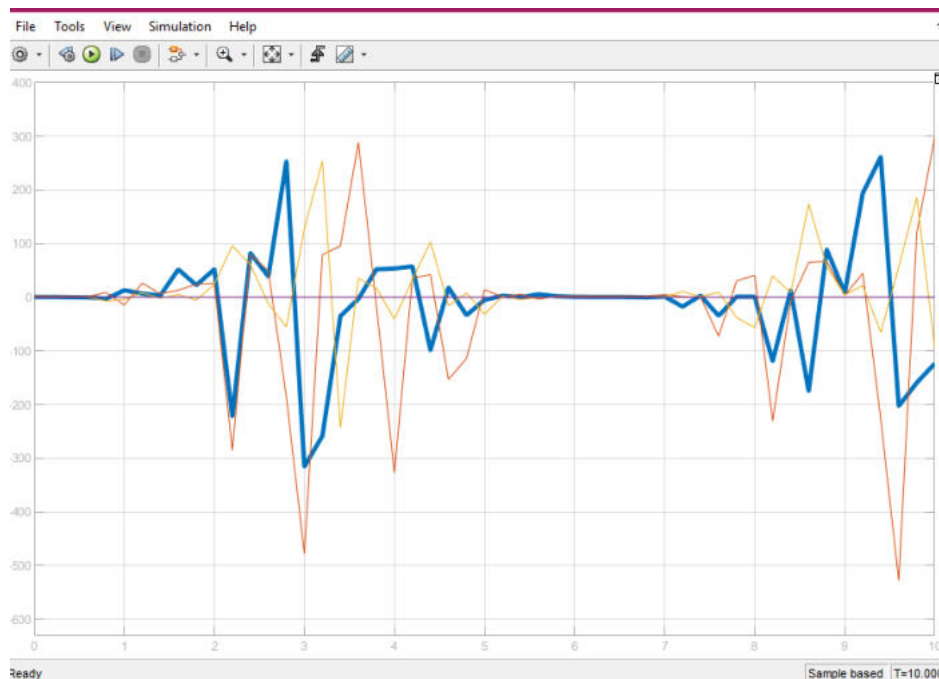


Рисунок 5. Показания с одного из осциллографов

Моментами звеньев в данной работе являются:

- Момент Первого звена 525 Н/м
- Момент Второго звена 490 Н/м
- Момент Третьего звена 199 Н/м

На основе полученных моментов необходимо подобрать реальные модели двигателей для того, чтобы актуальность данной работы была выше. Одним из отличных способов подобрать двигатели и редуктор является каталог Maxson. После того как из этого каталога берутся нужные значения, схема с рисунка 4 перестраивается с элементами добавления управления двигателями.

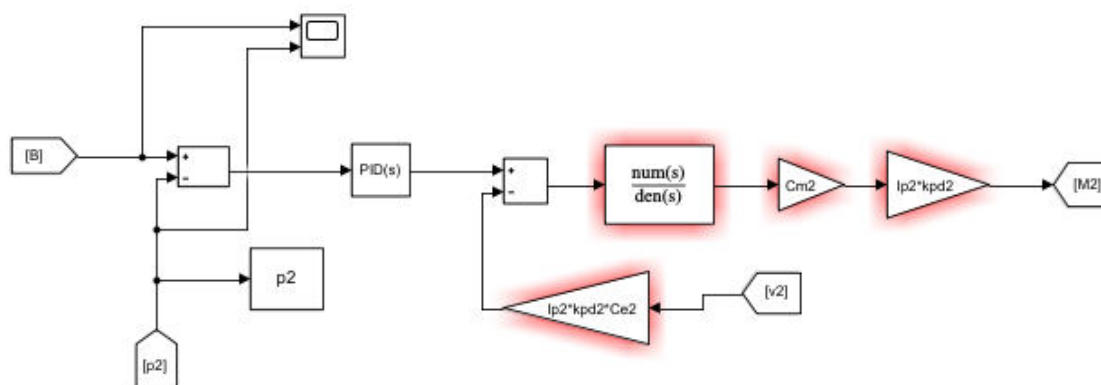


Рисунок 6. Модель двигателя

Итоговый уровень значения отработки модели не достигает заданного качества, вследствие чего в схему добавляются ПИД регуляторы.

Возвращаемся к ПЗК данного манипулятора. Основной сутью работы с манипулятором является смещение его рабочего органа от точки А в точку Б,

вследствие чего в данном случае как раз и нужна ОЗК, которую мы строим по ПЗК. Интегрируем ОЗК в модель, соединяя ОЗК с моделями двигателя. Итоговая схема представлена на рисунке 7. На эту схему подаются координаты конечного положения рабочего органа манипулятора, и манипулятор самостоятельно выходит на заданное значение. Качество работы данной системы по осям отображено на графиках рисунок 8. Погрешность на каждой осях составила:

- X – 0.004 М.
- Y – 0.001 М.
- Z – 0.003 М

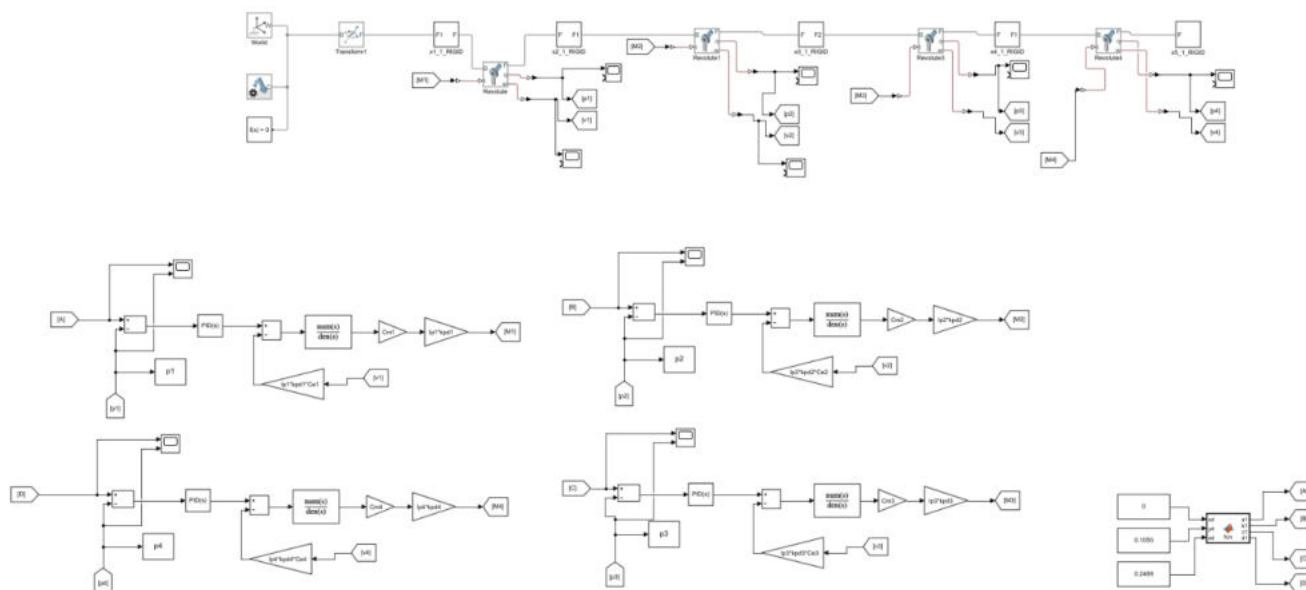


Рисунок 7. Итоговая схема

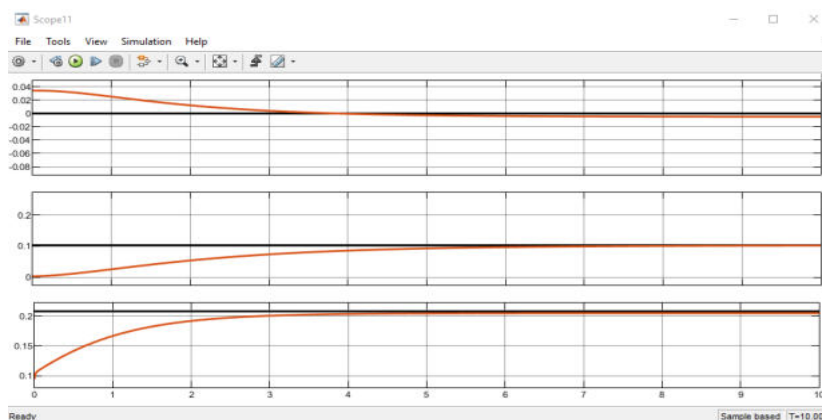


Рисунок 8. Точность отработки модели

В данной работе были решены прямая и обратная задачи кинематики для робота-манипулятора, а также рассмотрены основные принципы работы самого манипулятора. Была спроектирована теоретическая модель робота в среде SolidWorks и проведен энергетический расчет для получения максимальных моментов на разных звеньях, вследствие чего был подобран оптимальный двигатель для оптимизированной работы робота-манипулятора.

### Список литературы

1. Иванов А. А. Основы робототехники. 2-е изд. — М.: ИНФРА-М, 2017. — 223 с.
2. Малафеев С.И. Основы автоматики и системы автоматического управления. — М.: Издательский центр «Академия», 2010 — 384 с.
3. Шишмарев В.Ю. Типовые элементы систем автоматического управления — М.: Издательский центр «Академия», 2007 — 304 с.
4. Карташов Б.А. Компьютерные технологии и микропроцессорные средства в автоматическом управлении — Ростов н/Д: Феникс, 2013 — 540 с.
5. Двигатели компании Максон [Каталог]  
<https://maxon.blatterkatalog.ch/b9990/catalog/index.html?data=b9990/b999045&lang=e#22>  
2 – сайт maxon.com

### РАЗРАБОТКА БАЙЕСОВСКОЙ СЕТИ ДОВЕРИЯ В СРЕДЕ HUGIN ПО ВЫЯВЛЕНИЮ ШАНСА ЗАБОЛЕВАНИЯ COVID19

Скубак А.С.

Научный руководитель: Хабаров С.П., Пушкарева Л.Г.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
им. С.М.Кирова, Санкт-Петербург

*Аннотация.* В статье описан подход к построению экспертных систем на основе байесовских сетей доверия, методы их реализации и приемы работы с ними в среде HUGIN. Разработана экспертная система, которая позволяет исследовать симптоматику конкретного пациента врачом, или же самим пациентом с целью выявления шанса, что он болен COVID-19 для оперативного получения соответствующего лечения.

*Ключевые слова:* HUGIN, БСД, COVID-19, COVID, болезнь, пациент.

**Введение.** В настоящее время интеллектуальные информационные системы обладают широким спектром действия и продолжают наращивать потенциал с каждым днем. Уже сейчас имеется обширный набор моделей представления знаний: от простейших систем продукций [1, 2] и моделей на основе логики предикатов [3], до искусственных нейронных сетей [4,5]. Отдельно выделяются модели представления знаний на основе байесовских сетей доверия (БСД) и диаграмм влияния, ярким примером которых является такой коммерческий программный продукт как Hugin.

Байесовские сети доверия (Bayesian Believe Network) используются в тех областях, которые характеризуются наследованной неопределённостью. Эта неопределённость может возникать вследствие таких факторов как:

- Неполное понимание предметной области;
- Неполные знания;
- Фактор случайности в задаче.

То есть, байесовские сети доверия применяют для моделирования ситуаций, которые содержат неопределённость в некотором смысле. Для БСД иногда используют ещё одно название – причинно-следственная сеть, в которой случайные события соединены причинно-следственными связями.



Hugin – одна из программных сред, которая позволяет решать задачи, связанные с принятием решений на основе байесовских сетей доверия. Благодаря интуитивно-понятному, но многофункциональному интерфейсу, она позволяет быстро и качественно создавать базы знаний и фактов. Являясь оболочкой для построения экспертных систем, она имеет широкий набор функции для решения многих задач в сфере интеллектуальных систем

Постановка задачи. Данная работа ставит перед собой задачу ускорить процесс выявления заболевания COVID-19, чтобы пациент мог в кратчайшие сроки получить необходимое лечение. Для этого предлагается использовать модель в виде БСД, содержащей девять вершин событий (Рис. 1).

Вершины событий модели БСД		Состояния вершин событий	
Имя	Идентификатор	Присутствие симптома/заболевания	Отсутствие симптома/заболевания
1	Ковид-19	Covid19	CovidYes CovidNo
2	Изменения во вкусе или запахе	ChangeInSmellOrTaste	Have changes in smell or taste No changes in smell or taste
3	Слабость	Fatigue	Big fatigue Low fatigue
4	Кашель	Cough	Have a cough No cough
5	Проблемы с дыханием	DifficultyBreathing	Difficulty breathing No difficulty breathing
6	Диарея или тошнота	DiarrheaOrVomiting	Have a diarrhea or vomiting MDiskLost
7	Головная боль	Headache	Have a headache No headache
8	Боль в горле	SoreThroat	Have a sore throat Have a sore throat
		Состояние вершины событий Temperature	
		Температура выше 37,5	Температура от 37 до 37,5 Температура от 36,4 до 36,9
9	Температура	>37,5	37-37,5 36,4-36,9

Рисунок 1. Состояния вершин событий модели БСД

В процессе построения модели представления знаний требуется установить причинно-следственными связи между теми событиями, которые свидетельствуют о влиянии симптоматики на шанс присутствия COVID-19 в организме пациента (Рис.2).

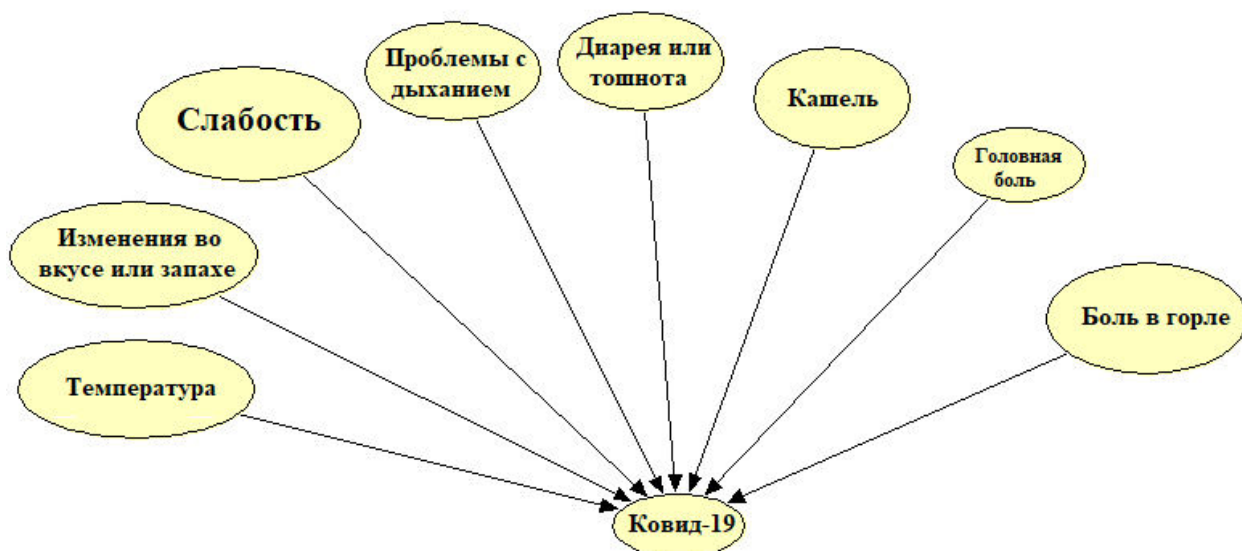


Рисунок 2. Байесовская сеть доверия

После указания причинно-следственных связей можно сделать вывод, что каждый из симптомов, который может быть найден у пациента, так или иначе влияет на шанс того, что заболеванием является COVID-19.

Поскольку система ориентирована на широкий круг лиц, изначально у каждой вершины выставлена усредненная вероятность событий, исходя из соотношения, сколько человек всего имеет или не имеет конкретный симптом. Рассматривая на конкретном примере, поскольку мы знаем, что кашель достаточно распространенный симптом, поскольку большое количество людей курят или же имеют простудные заболевания, то вероятность вершины событий «Кашель» отражена в соотношении 90 на 10, конкретизируя можно сказать, что из 100 человек 10 будут иметь данный симптом в той или иной форме. Остальные вершины определены по аналогичному принципу, некоторые из них как симптом встречаются достаточно редко, например проблемы с дыханием, а другие достаточно часто, к примеру, слабость или боль в горле.

Данный подход позволяет обоснованно сформулировать методику, согласно которой могут быть определены значения всех маргинальных вероятностей для всех вершин событий разрабатываемой модели БСД, которые не имеют родительских вершин (табл. 1).

Таблица 1. Значения маргинальных вероятностей вершин БСД

Имя	Идентификатор	Событие	Вероятность события
Температура	Temperature	>37,5	0.02
		37-37,5	0.03
		36,4-36,9	0.95
Изменения во вкусе или запахе	ChangeInSmellOrTaste	Have changes in smell or taste	0.004
		Have changes	0.996

		in smell or taste	
Слабость	Fatigue	Big fatigue	0.07
		Low fatigue	0.93
Кашель	Cough	Have a cough	0.1
		No cough	0.9
Проблемы с дыханием	DifficultyBreathing	Difficulty breathing	0.005
		No difficulty breathing	0.995
Диарея или тошнота	DiarrheaOrVomiting	Have a diarrhea or vomiting	0.05
		No diarrhea or vomiting	0.95
Головная боль	Headache	Have a headache	0.1
		No headache	0.9
Боль в горле	SoreThroat	Have a sore throat	0.05
		No sore throat	0.95

В отличие от перечисленных выше вершин БСД, вершина COVID-19 определяется через таблицу условных вероятностей, которая определяет степень влияния на состояние дискретной случайной переменной (событие COVID-19) совокупности тех или иных конкретных симптомов. Эти данные составляют основу проектируемой модели БСД и задаются разработчиком на основе материалов, взятых из профильных онлайн ресурсов (Рис. 3).

ChangeInSmellORTaste	Fatigue	Cough	DifficultyBreathing	DiarrheaOrVomiting	Headache	SoreThroat	Covid19	Temperature						
SoreThroat	Have a sore throat													
DiarrheaOr...	Have a diarrhea or vomiting													
ChangeInS...	Have changes in smell or taste													
DifficultyBr...	Difficulty breathing													
Headache	Have a headache													
Cough	Have a cough			No cough										
Fatigue	Big fatigue		Low fatigue		Big fatigue		Low fatigue		Big					
Temperature	>37,5	37-37,5	36,4-3...	>37,5	37-37,5	36,4-3...	>37,5	37-37,5	36,4-3...	>37,5	37-37,5	36,4-3...	>37,5	37-37,5
CovidYes	1	1	1	1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	0.8	1	1
CovidNo	0	0	0	0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0	0	0

Рисунок. 3. Фрагмент таблицы условных вероятностей вершины COVID-19

Таблица условных вероятностей вершины COVID-19 формировалась в соответствии с данными, представленными на сайте известной в России клиники Invitro. В зависимости от комбинации симптомов, определялась та или иная вероятность заболевания COVID-19.

На этом этап построения модели БСД, которая является экспертной системы по диагностики заболевания, можно считать законченным и следует перейти к

тестированию ее работы. Для этого надо провести компиляцию и выполнить запуск разработанной модели БСД в работу (Рис. 4).

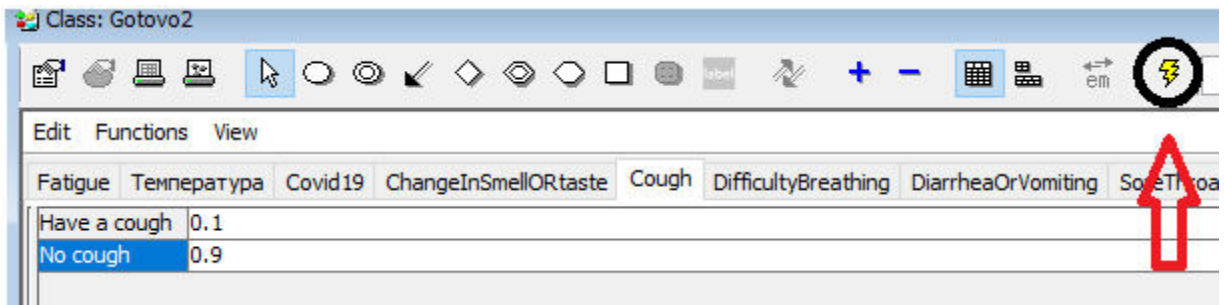


Рисунок 4. Запуск модели БСД в работу

В случае, когда потребуется проанализировать состояние конкретного больного, а не общую статистику по COVID-19, необходимо определить все поступившие свидетельства о симптомах конкретного пациента, т.е. задать априорные вероятности всех известных дискретных переменных (вершин событий). В ответ на это Hugin выполнить распространение вероятностей по всем вершинам событий (Рис. 5).

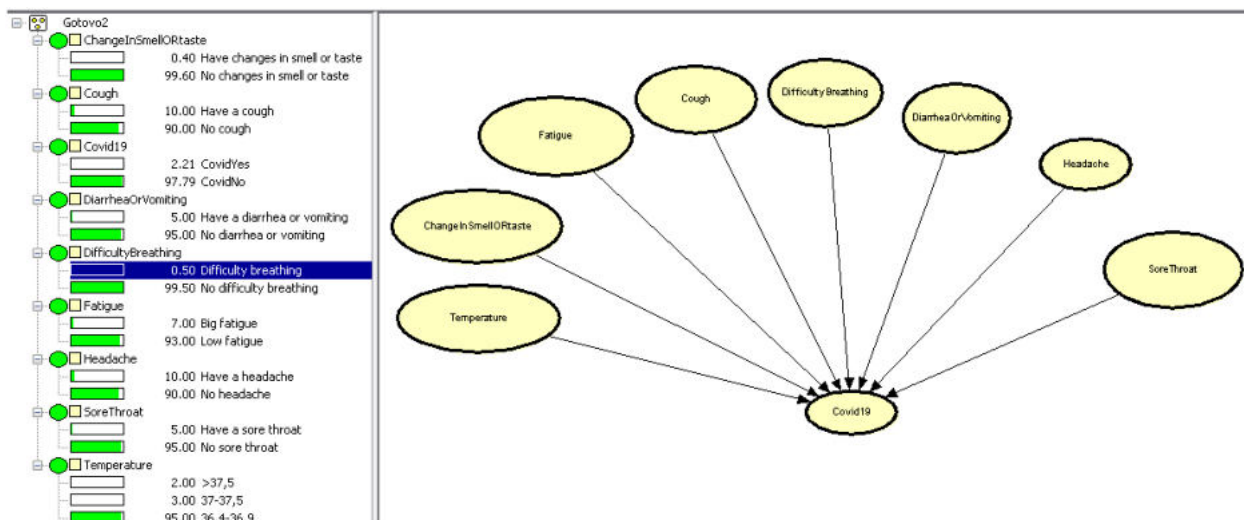


Рисунок 5. Результат работы программы

Можно рассмотреть работы программы на примере. Предположим, что есть условный пациент с симптомами кашля, изменениями во вкусе и запахе, а также проблемами с дыханием. Иные симптомы отсутствуют. (Рис. 6)

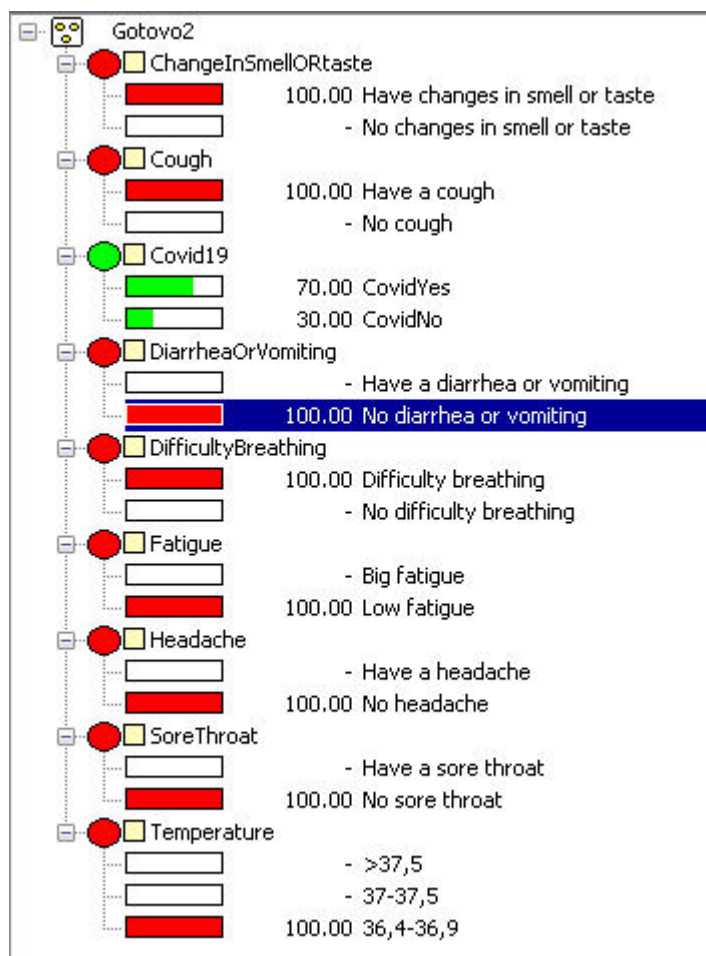


Рисунок 6. Результат работы программы при заданных параметрах

В результате, на основании введенных данных программа при помощи внутренних алгоритмов выявила, что шанс того, что пациент болен COVID-19, равен 70 процентам. Это означает, что пациенту в скором времени требуется пройти тест на COVID-19 и в кратчайшие сроки получить соответствующее лечение. Возможен прием иммуностимулирующих препаратов, которые позволят ускорить процесс выздоровления пациента.

Особенность разработанной модели БСД и ее функционирование в среде Hugin позволяет задавать свидетельства для любых вершин событий и выполнять распространения вероятностей, как от причин к следствиям, так и от следствия к причинам.

**Выводы.** Данная экспертная система имеет все основные функции информационной системы. В результате анализа предметной области о симптоматике COVID-19 была построена модель представления знаний на основе байесовской сети доверия, которая позволяет без проведения ПЦР теста, на основании симптоматики выявить процентное соотношение шанса заболевания COVID-19. Данная система может быть применима как врачами, так и пациентами собственноручно, чтобы ускорить начало процесса лечения или получить дополнительный стимул сдать ПЦР тест на COVID-19.

### Список литературы

1. Хабаров С.П. Пушкарева Л.Г. Представление знаний в информационных системах. Использование среды PTE при проектировании баз данных и знаний [Электронный ресурс] :- Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2019. – 66 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/117636>. — Загл. с экрана.
2. Кравченкова И.С., Хабаров С.П., Кривицкий С.В. Разработка экспертной системы определителя древесных и кустарниковых пород по листьям. В книге: Цифровые технологии в лесном секторе материалы Всероссийской научно-технической конференции. СПбГЛТУ им. С. М. Кирова; СПбПУ Петра Великого. Санкт-Петербург, 2020. С. 83-86.
3. Хабаров С.П. Интеллектуальные информационные системы. PROLOG – язык разработки интеллектуальных и экспертных систем: учебное пособие – СПб.: СПбГЛТУ, 2013. 2013.– 140 с.
4. Заяц А.М., Хабаров С.П. Построение нейронной сети классификации ирисов Фишера на базе JavaScript // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2019. Вып. 226. С. 233–247. DOI: 10.21266/2079-4304.2019.226.233-247
5. Думов М.И., Хабаров С.П. Нейроклассификатор Ирисов Фишера. Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2019660450 от 06.08.2019г. Заявка №2019618555 от 12.07 2019г.
6. AgenaRisk Bayesian network tool [Электронный ресурс] – URL: <http://www.agenarisk.com>
7. Hugin [Электронный ресурс] – URL: <http://www.hugin.com>
8. Коронавирус – симптомы, признаки, общая информация – Минздрав России [Электронный ресурс] - URL: <https://covid19.rosminzdrav.ru/>
9. Симптомы коронавируса COVID-19 [Электронный ресурс] - URL: <https://www.invitro.ru/library/bolezni/koronavirus/26273/>

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ПОДВИЖНОГО УЗЛА БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ В ПРЕДЕЛАХ ДВУХ ТОЧЕК ДОСТУПА

Тетюев Е.В.

Научный руководитель: Хабаров С.П.

*Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет  
им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург*

*Аннотация.* В статье описывается построение имитационной модели беспроводной сети с несколькими клиентами и двумя точками доступа. Рассматривается процесс подключения узла сети к точкам доступа и производится оценка влияния обмена сервисными сообщениями при подключении клиента на скорость передачи и потери данных в сети.

*Ключевые слова:* беспроводная сеть, Wi-Fi, точка доступа, симулятор, моделирование, OMNeT, INET Framework.

Введение. Одной из ключевых проблем взаимодействия узлов в проводных и беспроводных сетях является рациональное совместное использование среды передачи

данных, позволяющее избежать интерференции и последующей потери сигналов от разных устройств.

Для этой проблемы существует множество решений, например, технология CSMA/CD (коллективный доступ с опознаванием несущей и обнаружением конфликтов [1]), основанная на прослушивании несущей частоты, использовании таймеров межкадрового интервала, обратного отсчета и сообщений о подтверждении принятых данных.

Децентрализованные (одноранговые) сети подразумевают, что каждое устройство является равноценным узлом с возможностью вести передачу и прием сигнала и, при необходимости, выполнять функцию маршрутизатора. При этом устройства сами выполняют необходимые действия по обнаружению и устранению коллизий в передающей среде. Подобная модель описана в работе «Имитационное моделирование процессов маршрутизации между узлами беспроводной сети» [2].

Принципиальным отличием централизованной беспроводной сети является наличие устройства, которое обеспечивает координацию доступа к передающей среде, опрашивая все узлы сети, внесенные в её список, и на этом основании организовывая процесс передачи данных между ними [3]. Очевидно, что для передачи данных в такой сети клиентские устройства должны быть подключены к точке доступа. Процесс подключения представляет собой обмен сообщениями о запросе на подключение, аутентификации и ассоциации в сети. Несмотря на то, что объем сервисных сообщений крайне мал в сравнении с основным потоком передачи данных, процесс подключения к точке доступа занимает среду передачи и влияет на работоспособность сети в целом. Также очевидно, что во время подключения к точке доступа клиент не может вести обмен данными с сетью.

Постановка задачи. Целью данного исследования является создание имитационной модели беспроводной сети из нескольких клиентов и точек доступа, чтобы симитировать ситуацию, когда один из клиентов подключается к сети. Требуется проанализировать влияние процесса подключения на скорость передачи данных для этого и для других клиентов в сети, для чего необходимо оценить скорость передачи и потери данных в сети со статичными клиентами, после чего сравнить эти данные с результатами симуляции с подвижным клиентом.

Методика исследования. Для создания модели был использован бесплатный пакет OMNeT++ с установленным фреймворком INET. Исследовательская модель имитирует стандарт IEEE 802.11g (одна из наиболее популярных версий стандартов Wi-Fi). В числе важных параметров модели: максимальная скорость передачи данных до 54 Мбит/с, шифрование WEP, отправка сообщений-маячков каждые 0,1 с.



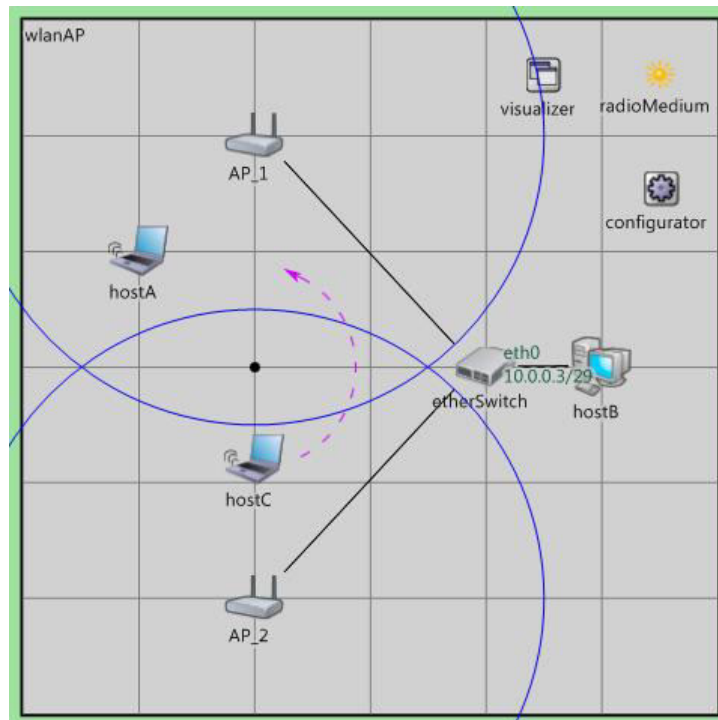


Рисунок 1. Схема модели. Сплошными линиями показаны зоны покрытия точек доступа, пунктиром отмечена траектория движения узла hostC.

Схема модели изображена на рис. 1 и включает в себя две точки доступа AP\_1 и AP\_2, которые через сетевой коммутатор etherSwitch подключены к узлу hostB. Он выполняет роль получателя сообщений.

В модели также присутствуют два беспроводных клиента: неподвижный hostA и hostC, который движется по дуге, переходя из зоны покрытия точки доступа AP\_2 в зону покрытия AP\_1. Все устройства являются стандартными модулями фреймворка INET, их настройки выполнены с учетом рекомендаций обучающего курса проекта OMNeT++ [4]. Загрузка сети осуществляется UDP пакетами длиной в 1400 байт (1446 байт с заголовками транспортного, сетевого и канального уровня [5]). В первом варианте данные отсылаются от hostA к hostB, чтобы оценить потери при включении в сеть узла hostC. Во втором варианте передачу ведет только hostC, позволяя оценить его собственные потери при переключении на другую сеть. Поскольку подключение узла hostB и точек доступа реализовано с помощью проводных соединений 100 Мбит/с, их влиянием на результаты симуляции можно пренебречь. Симуляция длится 10 секунд. Для того чтобы исключить потери времени на первичное подключение беспроводных узлов к их точкам доступа, данные снимаются в промежутке с 5 по 10 секунду симуляции.

Результаты исследования. В таблицу 1 занесены данные, полученные из 8 опытов в разных конфигурациях модели.



Таблица 1. Результаты симуляции.

№ опыта	Маршрут передачи	Узел С	Пакетов отправлено	Пакетов принято
1	A > B	неподвижен	5000	5000
2	A > B	движется	5000	5000
3	C > B	неподвижен	5000	4999
4	C > B	движется	5000	3591
5	A > B	неподвижен	10000	7328
6	A > B	движется	10000	7317
7	C > B	неподвижен	10000	7327
8	C > B	движется	10000	5269

Как видно из результатов (опыт 2), вход узла С в зону покрытия точки доступа AP\_1 совершенно не отразился на количестве переданных пакетов. Это объясняется тем, что скорость передачи данных от узла А к узлу В в опыте не превышала пропускной способности канала связи, поэтому сервисные сообщения не помешали потоковой передаче UDP пакетов.

Опыт 3 ожидаемо дал результат, аналогичный опыту 1. Разница в одно сообщение объясняется погрешностью в работе пакета OMNeT++.

В то же время, переключение узла С между сетями во время передачи (опыт 4) привело к значительной, до 30%, потере его пакетов на выбранном отрезке времени. Само-собой, эта цифра справедлива только в рамках данного опыта и может меняться в зависимости от выбранного отрезка времени, типа и количества отсылаемых сообщений.

Особый интерес представляет ситуация, когда канал связи загружен. Небольшая разница между количеством принятых пакетов в опытах 5 и 6 показывает, что точке доступа пришлось пожертвовать частью данных от узла А, чтобы зарегистрировать в сети узел В. Чтобы убедиться в том, что это действительно прерывание передачи данных, а не погрешность симуляции, достаточно взглянуть на рис. 2, где показан график номеров поступающих на узел hostB пакетов. На графике отчетливо видны два паузы в передаче UDP пакетов, по времени соответствующие аутентификации и ассоциации узла hostC с точкой доступа AP\_1.

Собственные потери узла С при переходе в другую сеть достигли почти 50% (опыт 8), что неудивительно, так как в данном случае потери в перегруженном канале наложились на потери при переподключении к сети. Частично ситуацию могла бы исправить очередь на отправку пакетов у узла hostB, но к моменту переключения она уже была заполнена. Фактически время задержки между отправкой пакетов в обоих случаях составило около 1.4 с, из которых 0.4 с ушло на ожидание восстановления связи и 1 с – на подключение к другой точке доступа.

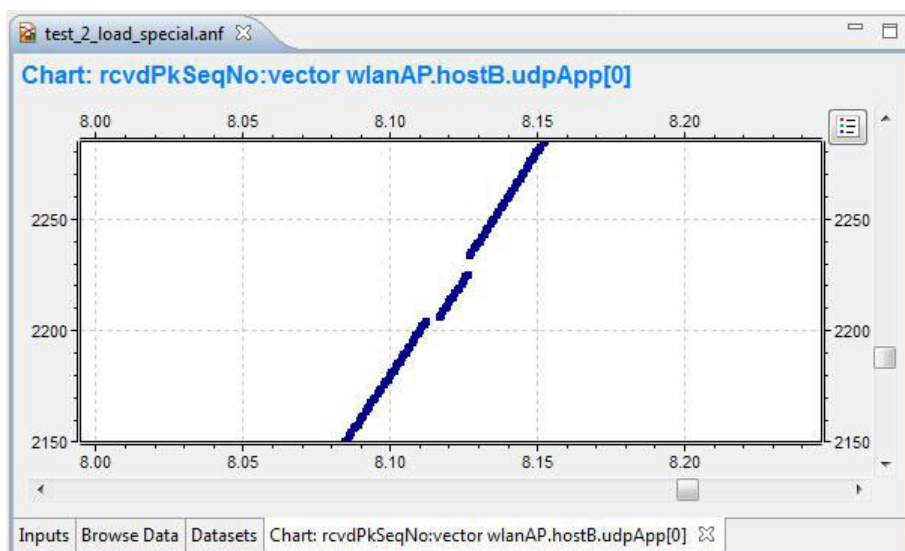


Рисунок 2. График номеров принятых пакетов на узле hostB.

Отчетливо виден перерыв в доставке пакетов во время включения узла hostC в сеть.

**Выводы.** В результате исследований доказано, что сервисные сообщения могут влиять на скорость работы сети. Также стоит отметить, что исследования проводились для одного подвижного узла в идеальных условиях без каких-либо помех или других источников сигналов. Если же точка доступа обслуживает десятки, сотни или даже тысячи узлов, перегружена потоком данных, имеет медленный или подверженный помехам канал связи, сервисные сообщения могут существенно сказаться на скорости обмена данными в сети. Тем не менее, это не повод отказываться от них, поскольку эффективность использования централизованной структуры сети и разграничения доступа клиентов не вызывает сомнений.

#### Список литературы

1. Инфокоммуникационные сети: энциклопедия. Том 1: Инфокоммуникационные сети: классификация, структура, архитектура, жизненный цикл, технологии / С. П. Воробьев, А. Е. Давыдов, В. В. Ефимов, В. И. Курносков; Под ред. С. П. Воробьева. – Изд. 2-е, перераб и доп. – СПб.: Научное издание, 2019. – 739 с. С. 346-347.
2. Кравченко И.С., Хабаров С.П. Имитационное моделирование процессов маршрутизации между узлами беспроводной сети // Математические модели техники, технологий и экономики: материалы Всероссийской научно-практической студенческой конференции, Санкт-Петербург, 10 июня 2020 года/ Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С. М. Кирова; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – Санкт-Петербург: Политех-Пресс, 2020. – С. 118-123.
3. Хабаров С.П. Основы моделирования беспроводных сетей в среде OMNeT++: Учебное пособие. — СПб: Издательство "Лань", 2019. — 260 с.: ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература).
4. Wireless Tutorial. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: открытый ресурс; постоянный адрес в Интернет: <https://inet.omnetpp.org/docs/tutorials/wireless/doc/index.html>

**ВСНПК «Математические методы и модели техники, технологий и экономики»,  
09.06.2021, СПбГЛТУ, Санкт-Петербург**

5. Хабаров С.П. Конспект лекций по курсу «Информационные сети». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: открытый ресурс; постоянный адрес в Интернет: <http://habarov.spb.ru/net/index.htm>

## Секция 7. История математики

### ИСТОРИЯ ИНДИЙСКОГО НУЛЯ

Барбудхе А.Р.

Научный руководитель: Семенова О.Ю.

*Самарский национальный исследовательский университет  
имени академика С.П. Королева*

**Аннотация.** В этой статье мы изучаем изобретение важнейшего числа ноль. Изучая доступную литературу, мы получили представление о происхождении числа ноль; как ноль стал популярным во всем мире и как индийский математик получил признание за свое изобретение нуля. Было установлено, что великий фундаментальный вклад древней Индии в прогресс цивилизации - это изобретение числа ноль и включение десятичной системы счисления.

**Ключевые слова:** изобретение нуля, Арьябхатта, Брахмагупта, применение нуля, число ноль, ноль.

0 (ноль) - это число и числовая цифра, используемая для представления этого числа в цифрах. 0 используется в качестве заполнителя в системах значений разряда. Значение числа 0 не то же самое, что цифра 0, используемая в системе счисления с использованием позиционного обозначения. Число 0 может считаться натуральным числом, а может и не рассматриваться, однако это целое число. Кроме того, оно является рациональным и действительным числом, а также алгебраическим и комплексным. Число 0 - это целое число, непосредственно предшествующее числу 1, которое не является ни положительным, ни отрицательным и появляется в середине строки действительных чисел. По некоторым определениям 0 также является натуральным числом, и тогда это единственное натуральное число, которое не может быть положительным. Это не простое и не составное число. Оно не может быть простым, потому что у него бесконечное количество факторов, и не может быть составным, потому что оно не может быть выражено умножением простых чисел; 0 всегда должен быть одним из факторов. Однако ноль - это четное число, потому что оно делится на 2.

Ноль на санскрите называется 'Шунья', что означает «пустота», «пустота» или «ничто». Символ нулевой цифры был написан в форме точки, и поэтому его называли 'Бинду' или точкой. Точка использовалась в Греции в более ранние зашифрованные цифровые периоды. Древние индейцы изображали ноль в виде круга с точкой внутри. Эти символы были также найдены в тексте Атхарваведа. Математическая концепция нуля присутствовала в духовной форме 17000 лет назад в Индии. В 976 году нашей эры персидский энциклопедист Мухаммад ибн Ахмад аль-Хорезми в своем тексте «Ключи наук» заметил, что если в расчетах вместо десятков не появляется число, затем следует использовать маленький кружок, чтобы удерживать ряды. Этот круг на самом деле арабский 'Сифр'. Это было самое раннее упоминание данного имени, которое со временем стало нулевым.

Первый зарегистрированный ноль приписывается вавилонянам в 3 веке до нашей эры. Вавилонский заполнитель не был истинным нулем, потому что он не

использовался отдельно или в конце числа. Записи показывают, что древние греки не были уверены в статусе нуля как числа. Они спрашивали себя: «Как ничто не может быть чем-то?» - приводящие к философским рассуждениям о природе и существовании нуля и вакуума. Парадоксы греческого философа Зенона во многом зависят от неопределенной интерпретации нуля. Но потом майя, жившие на другом конце света, в Центральной Америке, независимо изобрели ноль в четвертом веке нашей эры. Последнее независимое изобретение нуля было в Индии в середине пятого века нашей эры. Однако время и независимость этого изобретения обсуждались учеными. Некоторые из них говорят, что вавилонская астрономия с ее нулем была передана индуистским астрономам, но абсолютных доказательств этого нет. Поэтому большинство ученых отдают должное индусам или индийцам за то, что они сами пришли к нулю. Поразительное примечание об индуистском нуле состоит в том, что, в отличие от вавилонского и майяского нуля, индусский символ нуля стал действительно пониматься как означающий «ничто» и использовался практически в расчетах, астрономии и астрологии. Более того, индейцы были первыми, кто увидел, что ноль может использоваться для чего-то сверх ничего - в разных местах числа он складывает разные значения. Например, 38 отличается от 308, 3008 или 380.

Я считаю, что лучшим нововведением в мире была математическая система, основанная на числовом значении, которая вынудила индийцев изобрести ноль. Число ноль наконец достигло Западной Европы в 12 веке нашей эры.

В 498 году нашей эры индийский астроном Арьябхатта, великий математик, заявил, что десятикратное десятикратное значение, может быть источником современной записи десятичных разрядов. В его тексте по математической астрономии «Арьябхатта-сиддхант», также известном как «Арьябхатия», в его позиционную систему счисления был включен нулевой буквенный код для цифр. По факту, Арьябхатта изобрел систему чисел и символ числа ноль, чтобы представить неизвестный элемент  $x$ . Эта система сбивала с толку, но улучшения продолжались, и к 876 году н.э. концепция нуля была в основном понята, и был установлен ее символ.

В 628 году нашей эры первое недвусмысленное использование десятичного нуля и правила, регулирующие его использование, появляются в Брахмаспхута Сиддханта, означающем «Открытие Вселенной», написанном индийским математиком Брахмагуптой вместе с учетом отрицательных чисел. Некоторые из его правил относительно действия числа ноль были верны, а некоторые нет. Первое недвусмысленное использование десятичного нуля и правила, регулирующие его использование, появляются в «Brahmasphuta Siddhanta», означающем «Открытие Вселенной», написанном индийским математиком Брахмагуптой вместе с учетом отрицательных чисел. Некоторые из его правил относительно действия числа ноль были верны, а некоторые нет. Основные правила Брахмагупты:

I.  $Dx + 0 = x$ ,

II.  $x - 0 = x$ ,

III.  $x \times 0 = 0$ ,

IV.  $x / 0 = 0$ , где  $x$  - любое количество положительное, отрицательное или нулевое.

Единственное, он ошибался относительно последней формулы. Причина этого заключалась в том, что он не мог заключить, что никакое число нельзя делить на ноль.

Эту ошибку исправил другой индийский математик Бхаскара в 12 веке нашей эры, который в своей знаменитой книге «Лилавати» утверждал, что деление количества на ноль является бесконечным количеством или неизменным Богом - когда миры создаются или разрушаются. Бхаскара правильно сформулировал и другие свойства нуля, такие как  $0^2 = 0$  и  $\sqrt{0} = 0$ .

#### **Список литературы**

1. Виктор, Дж. К., История математики: Введение, Эддисон-Уэсли, Бостон, 2009.
2. Плофкер К., Математика в Индии, Издательство Принстонского университета, Принстон, Нью-Джерси, 2009.
3. Датта Б. Ранние литературные доказательства использования нуля в Индии, The American Mathematical Monthly, Vol. 38 (10), стр. 566–572, 1931.

## Содержание

### **Секция 1. Математическое моделирование технологических процессов.**

<b>Антонюк А.Э., Кайгородова Д.Е.</b> <i>Научный руководитель: Алексеева С. В.</i> МОДЕЛИ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ОЖИДАНИЕМ .....	3
<b>Сабанцев Д.А., Беспалов Р.С., Суриков А.С., Кабалик М.В.</b> <i>Научный руководитель: Шапиро В.Я.</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПЛОТНЕНИЯ ПОЧВЫ КОМЛЯМИ ПАЧКИ ХЛЫСТОВ ПРИ ИХ ТРЕЛЕВКЕ .....	7
<b>Гончаренко Р.С.</b> <i>Научный руководитель: Подклетнова С.В.</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АВИАСТРОЕНИИ .....	11
<b>Ларионов Е.Е., Петряев Д.А., Ушаков М.С., Пьянусов А.И.</b> <i>Научный руководитель: Шапиро В.Я.</i> ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА ПЕРЕУВЛАЖНЕНИЯ ОТТАЯВШЕГО ГРУНТА НА ЕГО СПОСОБНОСТЬ СОПРОТИВЛЯТЬСЯ СТАТИЧЕСКИМ НАГРУЗКАМ ...	15
<b>Подлужная А. А. Лосева В. Д. Колодий А. А.</b> <i>Научный руководитель: Алексеева С. В.</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРТЕРНОГО ЦВЕТНИКА .....	18
<b>Сидорова В.С.</b> <i>Научный руководитель: Шапиро В.Я.</i> ОЦЕНКА РАЗМЕРОВ ОХРАННОЙ ЗОНЫ ПОЧВОГРУНТА ДЛЯ СОХРАНЕНИЯ КОРНЕВОЙ СИСТЕМЫ ПОДРОСТА .....	22
<b>Эйвазов А.Ф., Гетьманов Е.Г., Кулагин Н.А.</b> <i>Научный руководитель: Шапиро В.Я.</i> АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ГРУНТОМЕТАТЕЛЬНЫХ МАШИН .....	28

### **Секция 2. Математические методы и модели в науках о Земле**

<b>Гаврилов Д.С.</b> <i>Научный руководитель: Стенгач М.С.</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СТЕПНЫХ ПОЖАРОВ С УЧЁТОМ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ ВЕТРА .....	35
--	----

### **Секция 3. Статистический анализ и методы оптимизации**

<b>Бикетова С.В.</b> <i>Научный руководитель: Затенко С.И.</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА МНОЖИТЕЛЕЙ ЛАГРАНЖА В ЗАДАЧАХ НА ОПТИМИЗАЦИЮ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ .....	38
<b>Михайлов М.О., Игнатъев В.А., Синяева Д.А.</b> <i>Научный руководитель: Алексеева С.В.</i> ОПТИМИЗАЦИЯ МАРКЕТИНГОВОЙ СТРАТЕГИИ ДЛЯ ТОРГОВЫХ МАРОК ОБЩЕСТВЕННОГО ПИТАНИЯ ГОРОДА САНКТ-ПЕТЕРБУРГА С ПРИМЕНЕНИЕМ РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА И СИМПЛЕКС МЕТОДА .....	42

### **Секция 4. Математическое моделирование экономических и социальных процессов**

<b>Гаврилов Д.О.</b> <i>Научный руководитель: Стенгач М.С.</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СТОИМОСТИ КРИПТОВАЛЮТЫ ETHEREUMB ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДВИЖЕНИЙ КРИПТОВАЛЮТЫ BITCOINМЕТОДОМ НАИМЕНЬШИХ КВАДРАТОВ .....	49
<b>Кисельчук А.А. Емельянов В.В.</b> <i>Научный руководитель: Затенко С.И.</i> ТЕОРИЯ ИГР В ЭКОНОМИКЕ. КАК ТЕОРЕМА НЭША ПОМОГАЕТ РЕШАТЬ ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ .....	51
<b>Роман Е.В.</b> <i>Научный руководитель: Затенко С.И.</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ФУНКЦИИ КОББА-ДУГЛАСА .....	54
<b>Султанов А.Т. Валитов А.Р.</b> <i>Научный руководитель: Сулейменова Р.Д.</i>	

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАЗВИТИЯ  
КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ В СФЕРЕ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ ..... 59

**Туряева А.С.** *Научный руководитель: Затенко С.И.* ДИСКОНТИРОВАНИЕ И  
ПРИНЯТИЕ ИНВЕСТИЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ ..... 62

### **Секция 5. Математические методы в медицине, биотехнологии и экологии**

**Воеводина П.А.** *Научный руководитель: Нечаевский М.Л.* МАТЕМАТИЧЕСКОЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЕ В РЕШЕНИИ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ ТИПА «ХИЩНИК-  
ЖЕРТВА» ..... 65

**Кази И.М.** *Научный руководитель Осечкина Т.А.* СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ  
ВЛИЯНИЯ СОДЕРЖАНИЯ АЗОТА И ФОСФОРА В ВОДАХ ФИНСКОГО ЗАЛИВА  
НА РЫБНУЮ ЧАСТЬ ЭКОСИСТЕМЫ ..... 67

**Кириллов Н.О.** *Научный руководитель: Мешечкин В.В.* АНАЛИЗ  
ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НАСЕЛЕНИЯ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ ..... 73

**Кириллов Н.О.** *Научный руководитель: Мешечкин В.В.* АНАЛИЗ ВЫБРОСОВ  
ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ АТМОСФЕРУ ВЕЩЕСТВ В КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ ..... 75

**Кривякина А.В., Корохова Е.В.** *Научный руководитель: Корохова Е.В.*  
ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРИХОДА ПАЦИЕНТА В  
КЛИНИКУ ..... 78

**Рахимова В.В.** *Научный руководитель: Осечкина Т.А.* СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ  
ГЕНДЕРНЫХ РАЗЛИЧИЙ БИОРИТМОВ ГОЛОВНОГО МОЗГА ..... 82

**Сапаров А.В.** *Научный руководитель: Тарабан М.В.* ФРАКТАЛЬНЫЙ ПОДХОД ДЛЯ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭМОЦИЙ В АУДИО И ВИЗУАЛЬНОЙ ОБЛАСТИ ..... 84

### **Секция 6. Информационные и интеллектуальные технологии в технике и образовании**

**Бойцов А.К., Логачев А.А.** СВЕРТОЧНЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ В ЛЕСНОМ  
ХОЗЯЙСТВЕ ..... 88

**Веретенникова К.С.** *Научный руководитель: Хабаров С.П.* МОДЕЛИРОВАНИЕ  
БЕСПРОВОДНЫХ СЕНСОРНЫХ СЕТЕЙ СТАНДАРТА IEEE 802.15.4 В СРЕДЕ  
OMNeT++ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ INET Framework ..... 93

**Грецкая А.Н.** *Научный руководитель: Бронникова Л.М.* ИНФОРМАЦИОННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ В РАБОТЕ КЛАССНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ ..... 98

**Грецкая А.Н.** *Научный руководитель: Бронникова Л.М.* ИНФОРМАЦИОННО-  
КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧИТЕЛЯ ..... 100

**Заколпина А.Н.** *Научный руководитель: Меньшикова А.А.* ВЛИЯНИЕ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ НА ОБРАЗОВАНИЕ ..... 103

**Кострова А.А.** *Научный руководитель: Хабаров С.П.* ПРОГНОЗИРОВАНИЕ  
ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ НА ОСНОВЕ БАЙЕСОВСКОЙ СЕТИ  
ДОВЕРИЯ ..... 106

**Кудрявцев Д.С.** *Научный руководитель: Юрьева Ю.С.* ПРИМЕНЕНИЕ  
ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА НА СОРТИРОВОЧНЫХ СТАНЦИЯХ ..... 109

**Синяева Д.А., Витлев К.А., Михайлов М.О.** *Научный руководитель: Алексеева С.В.*  
МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ РАБОЧЕГО ОРГАНА  
ПРОМЫШЛЕННОГО РОБОТА МАНИПУЛЯТОРА ..... 114



**ВСНПК «Математические методы и модели техники, технологий и экономики»,  
09.06.2021, СПбГЛТУ, Санкт-Петербург**

**Скубак А.С.** *Научный руководитель: Хабаров С.П., Пушкарева Л.Г.* РАЗРАБОТКА  
БАЙЕСОВСКОЙ СЕТИ ДОВЕРИЯ В СРЕДЕ HUGIN ПО ВЫЯВЛЕНИЮ ШАНСА  
ЗАБОЛЕВАНИЯ COVID19 ..... 120

**Тетюев Е.В.** *Научный руководитель: Хабаров С.П.* МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ  
ПОДВИЖНОГО УЗЛА БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ В ПРЕДЕЛАХ ДВУХ ТОЧЕК  
ДОСТУПА ..... 126

### ***Секция 7. История математики***

**Барбудхе А.Р.** *Научный руководитель: Семенова О.Ю.* ИСТОРИЯ ИНДИЙСКОГО  
НУЛЯ ..... 132

***Содержание*** ..... 135

# МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ТЕХНИКИ, ТЕХНОЛОГИЙ И ЭКОНОМИКИ

Сборник материалов Всероссийской  
научно-практической студенческой конференции

Санкт-Петербург

9 июня 2021 года

Налоговая льгота – Общероссийский классификатор продукции  
ОК 005-93, т. 2; 95 3004 – научная и производственная литература

---

Подписано в печать 22.06.2021. Формат 60×84/16. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 8,75. Тираж 20. Заказ 3002.

---

Отпечатано с готового оригинал-макета, предоставленного редколлегией,  
в Издательско-полиграфическом центре Политехнического университета.

195251, Санкт-Петербург, Политехническая ул., 29.

Тел.: (812) 552-77-17; 550-40-14.