

7universum.com  
**UNIVERSUM:**  
**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**UNIVERSUM:**  
**ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

Научный журнал  
Издается ежемесячно с декабря 2013 года  
Является печатной версией сетевого журнала  
Universum: технические науки

Выпуск: 9(114)

Сентябрь 2023

Часть 1

Москва  
2023

УДК 62/64+66/69

ББК 3

U55

**Главный редактор:**

*Ахметов Сайранбек Махсутович*, д-р техн. наук;

**Члены редакционной коллегии:**

*Горбачевский Евгений Викторович*, канд. техн. наук;

*Демин Анатолий Владимирович*, д-р техн. наук;

*Дехканов Зулфикахар Киргизбаевич*, д-р техн. наук;

*Звездина Марина Юрьевна*, д-р. физ.-мат. наук;

*Ким Алексей Юрьевич*, д-р техн. наук;

*Козьминых Владислав Олегович*, д-р хим. наук;

*Ларионов Максим Викторович*, д-р биол. наук;

*Манасян Сергей Керопович*, д-р техн. наук;

*Мажидов Кахрамон Халимович*, д-р наук, проф;

*Мартышкин Алексей Иванович*, канд.техн. наук;

*Мерганов Аваз Мирсултанович*, канд.техн. наук;

*Пайзуллаханов Мухаммад-Султанхан Саидвалиханович*, д-р техн. наук;

*Радкевич Мария Викторовна*, д-р техн наук;

*Романов Андрей Александрович*, спец. по направлению гидрогеология и инженерная геология;

*Серегин Андрей Алексеевич*, канд. техн. наук;

*Старченко Ирина Борисовна*, д-р техн. наук;

*Усманов Хайрулла Сайдуллаевич*, д-р техн. наук;

*Юденков Алексей Витальевич*, д-р физ.-мат. наук;

*Tengiz Magradze*, PhD in Power Engineering and Electrical Engineering.

**U55 Universum: технические науки:** научный журнал. – № 9(114). Часть 1., М., Изд. «МЦНО», 2023. – 64 с. – Электрон. версия печ. публ. – <http://7universum.com/ru/tech/archive/category/9114>

ISSN : 2311-5122

DOI: 10.32743/UniTech.2023.114.9

Учредитель и издатель: ООО «МЦНО»

ББК 3

© ООО «МЦНО», 2023 г.

<b>Содержание</b>	
<b>Статьи на русском языке</b>	<b>4</b>
<b>Авиационная и ракетно-космическая техника</b>	<b>4</b>
КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ, ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ НАЗЕМНОГО, ВОДНОГО И ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА, А ТАКЖЕ СТАЦИОНАРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ Кривобок Андрей Дмитриевич	4
<b>Безопасность деятельности человека</b>	<b>27</b>
ИННОВАЦИИ В ОБОРУДОВАНИИ УСТАНОВОК ОЧИСТКИ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОКОВ ПОСЕЛКОВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ Сидоров Евгений Павлович	27
<b>Информатика, вычислительная техника и управление</b>	<b>39</b>
ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЧИСЛОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПОМОЩИ СЛОВ НА УЗБЕКСКОМ ЯЗЫКЕ В РУТНОН Адизова Зухро Маруф кызы	39
ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ НАГРУЗОЧНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМЫ Бевзенко Сергей Александрович	43
РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ АНАЛИЗА ДАННЫХ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ Васильченко Александр Михайлович	50
ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ iOS-ПРИЛОЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LiDAR ДЛЯ ПОМОЩИ СЛАБОВИДЯЩИМ Иманов Шамиль Эльманович	55

## СТАТЬИ НА РУССКОМ ЯЗЫКЕ

## АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА

DOI: 10.32743/UniTech.2023.114.9.15984

**КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ,  
ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ НАЗЕМНОГО,  
ВОДНОГО И ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА, А ТАКЖЕ СТАЦИОНАРНЫХ  
ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ***Кривобок Андрей Дмитриевич**канд. техн. наук, ведущий конструктор,  
АО «ОДК-КЛИМОВ»,  
РФ, Санкт-Петербург  
E-mail: [akrivobok@inbox.ru](mailto:akrivobok@inbox.ru)***CONCEPTUAL TECHNICAL SOLUTION FOR A HIGHLY EFFICIENT, ENVIRONMENTALLY  
FRIENDLY POWER PLANT FOR LAND, WATER AND AIR TRANSPORTATION,  
AS WELL AS STEADY POWER FACILITIES***Andrei Krivobok**Candidate of Engineering Sciences,  
lead designer  
JSC «UEC-KLIMOV»,  
Russia, Saint Petersburg***АННОТАЦИЯ**

Статья посвящена описанию нового концептуального технического решения высокоэффективной, экологически чистой энергетической установки для наземного, водного и воздушного транспорта, а также стационарных энергетических объектов.

Предлагаемое техническое решение включает в себя термодинамические циклы Брайтона и цикла Ренкина, но в отличие от хорошо известного способа в предлагаемом решении используются технологии органического цикла Ренкина, позволяющие в большей мере исключить многие известные недостатки, связанные с использованием водяного пара.

Также предложен ряд технических решений, позволяющих повысить эффективность газотурбинного двигателя и ОРС турбины, а также улучшить экологические характеристики и надёжность энергетической установки, упростить конструкцию газотурбинного двигателя за счёт применения новых технологий.

Прилагаются, расчётные схемы и результаты расчётов, которые подтверждают полученные результаты.

**ABSTRACT**

The article is devoted to the description of a new conceptual technical solution for a highly efficient, environmentally friendly energy plant for land, water and air transportation, as well as steady power facilities.

The proposed technical solution includes thermodynamic Brayton cycles and the Rankine cycle, but unlike the well-known method, the proposed solution uses organic Rankine cycle technologies, which make it possible to largely eliminate many of the known disadvantages associated with the usage of water vapor.

A number of technical solutions have also been proposed to increase the efficiency of the gas turbine engine and ORC turbine, as well as improve the environmental characteristics and reliability of the power plant, and simplify the design of the gas turbine engine through the use of new technologies.

Attached are the initial data, design diagrams and calculation results that confirm the results obtained.

**Ключевые слова:** органический цикл Ренкина; скрытая теплота парообразования; рекуператор; ORC турбина; газо-магнитные подшипники; цикл Брайтона; сжиженный пропан-бутан.

**Keywords:** organic Rankine circle; latent heat of vaporization; recuperator; ORC turbine; gas-magnetic bearing; Brayton circle; liquefied propane-butane.

## Введение

В современных условиях ограниченного запаса углеводородного топлива повышение эффективности энергетических установок с двигателями внутреннего сгорания, а также снижение уровней эмиссии выхлопных газов является актуальной задачей.

Поставленные задачи по повышению эффективности и снижения уровней эмиссии в выпускаемых энергетических установках возможно решать различными способами, в частности за счёт использования глубокой утилизации тепла выхлопных газов.

Хорошо известно, что электростанция с комбинированным циклом представляет собой комбинацию из нескольких тепловых двигателей, в частности, газотурбинного двигателя и паровой турбины, которые работают в тандеме от одного и того же источника тепла, преобразующие тепловую энергию в механическую и далее в электрическую.

Комбинация двух или более термодинамических циклов, в частности цикла Брайтона и Ренкина повышает общую эффективность установки, что снижает затраты на топливо.

В настоящее время использование комбинированного цикла для стационарных установок позволяет достичь эффективности около 64% [7], [8], [9], что составляет более 84% теоретической эффективности цикла Карно.

В связи с тем, что в комбинированном цикле предполагается использование теплообменного оборудования, для надёжной продолжительной работы парогазовой установки обычно используется газообразное топливо, например, сжатый или сжиженный природный газ, пропан-бутан или водород [4], сгорание которых не сопровождается образованием сажистых частиц.

Данное обстоятельство накладывает ограничения на использование комбинированного цикла на воздушном, наземном и водном транспорте, поскольку там основными топливами являются керосин, бензин, дизельное топливо и флотский мазут, при сгорании которых обычно образуются сажистые частицы.

Следующим ограничением является использование водяного пара в качестве рабочего тела в паровой турбине: данное обстоятельство существенно осложняет использование парогазовой установки при низких отрицательных температурах, а также в

регионах с жарким климатом, где отсутствует в необходимых количествах вода.

Использование воды делает парогазовую установку достаточно сложной в связи с наличием большого количества систем и номенклатуры оборудования.

Задачей предлагаемого концептуального технического решения является предложение установки для использования на транспорте и стационарных объектах, которые эксплуатируются в районах с холодным и жарким климатом, где отсутствуют источники воды.

Предлагаемое концептуальное решение позволит получить такую энергетическую установку, которая не уступает в эффективности лучшим существующим наземным, имеющая более высокую надёжность и экологичность, простоту конструкции, с более низкими уровнями шума, заметности в инфракрасном и видимом диапазоне электромагнитного спектра.

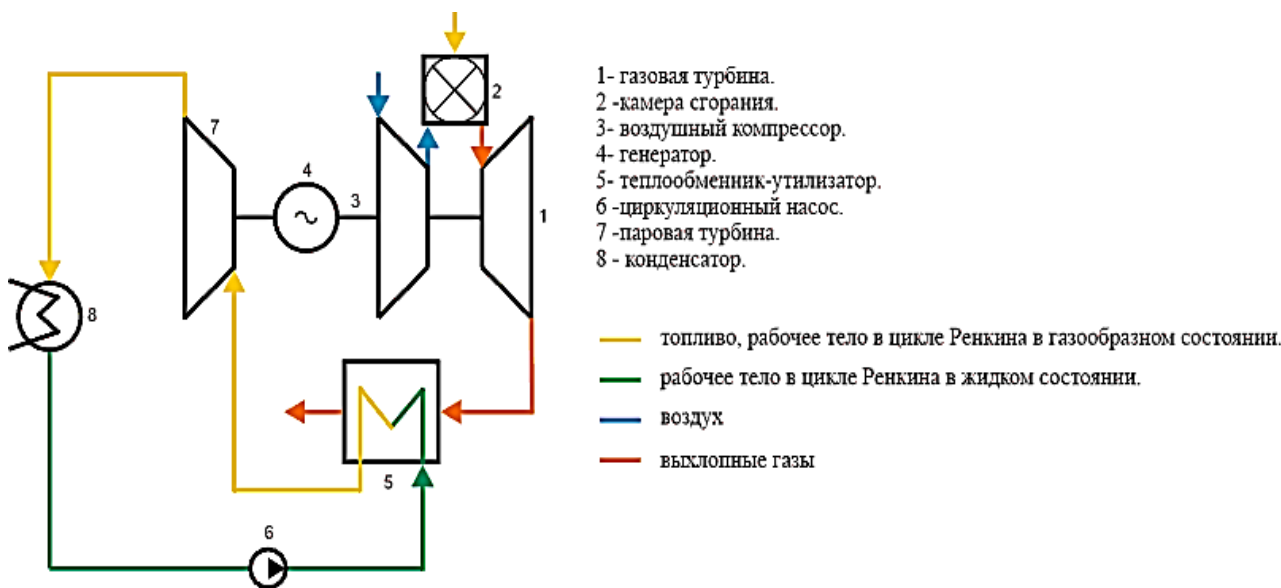
## 1. Перечень технических решений, входящих состав концептуального решения

1.1. Использование органического цикла Ренкина (ORC) вместо обычного цикла Ренкина, в котором в качестве рабочего тела используются высокомолекулярные рабочие жидкости [5], незамерзающие при низких отрицательных температурах.

Известно, что ORC турбины перед обычными конденсационными паровыми имеют следующие преимущества [6]:

- более высокую эффективность при одинаковой температуре рабочего тела на входе в турбину;
- более высокий ресурс в связи с отсутствием эрозии и коррозии рабочих лопаток;
- незначительное снижение эффективности на частичных нагрузках;
- более простую процедуру запуска и останова;
- меньшие рабочие давления и температуры;
- более компактные размеры.

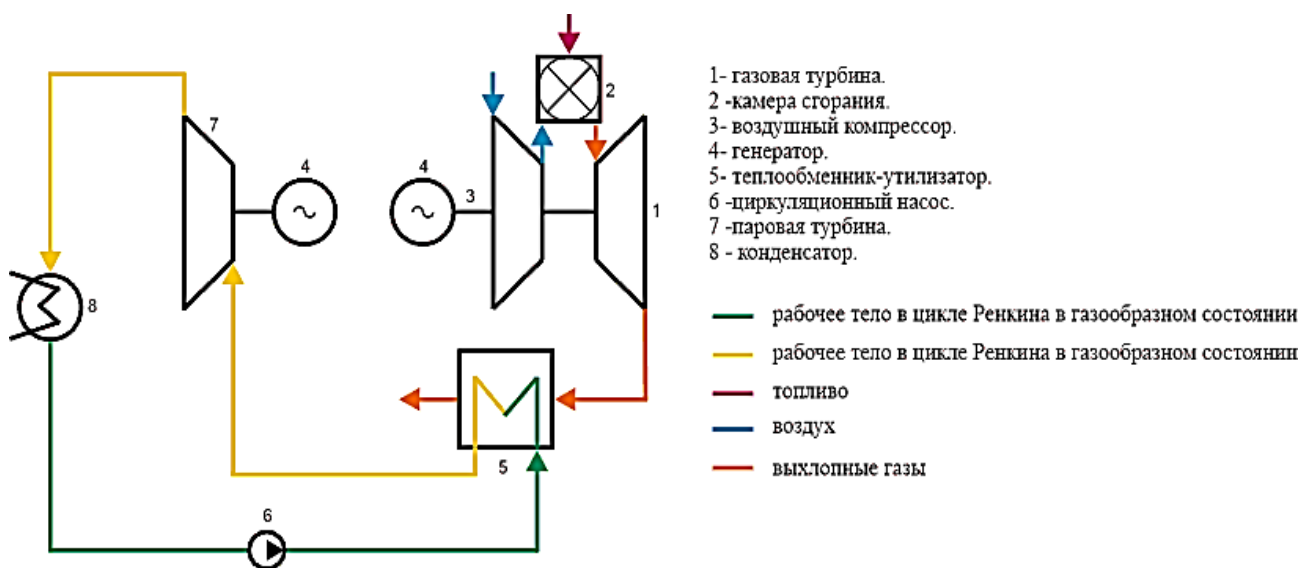
1.2. Решение для применения на воздушном транспорте: единый компонент, используемый в качестве топлива в цикле Брайтона и рабочего тела в органическом цикле Ренкина, например, пропан-бутан в сжиженном и газообразном состояниях, а также одновальная схема, у которой электрический генератор, ORC турбина и газотурбинный двигатель вращают один генератор без редуктора, см. рисунок 1.



**Рисунок 1. Принципиальная технологическая схема, у которой в качестве топлива и рабочего тела используется один и тот же компонент, а также одновальная схема**

1.3. Решение для применения на железнодорожном и водном транспорте, а также стационарных объектах, где отсутствуют жёсткие ограничения по массе и габаритам как на воздушном транспорте. Использование в качестве топлива в цикле Брайтона, например, сжиженного природного газа, хранящегося на борту в криогенных ёмкостях, а в кон-

турах ORC, например, толуэна или высокотемпературных диатермических масел. По причине отсутствия жёстких ограничений по массе и габаритам установка может быть многовальной, где газотурбинный двигатель и ORC турбина работают на отдельные электрические генераторы с различными скоростями вращения см. рисунок 2.



**Рисунок 2. Принципиальная технологическая схема, у которой в качестве топлива и рабочего тела используются различные компоненты, а также многовальная схема**

1.4. Использование низкого избыточного давления в конденсаторе для совершения рабочим телом в колёсах ORC турбин большой работы. Данное решение может быть легко реализовано на воздушном транспорте, при полётах на больших высотах, где

давление окружающей среды на высоте, например, 12 000 м, составляет около 19 000 Па, а температура минус 56,5 С. На рисунке 3 показано влияние давления в конденсаторе на работу, совершаемую ORC турбиной для пропана.

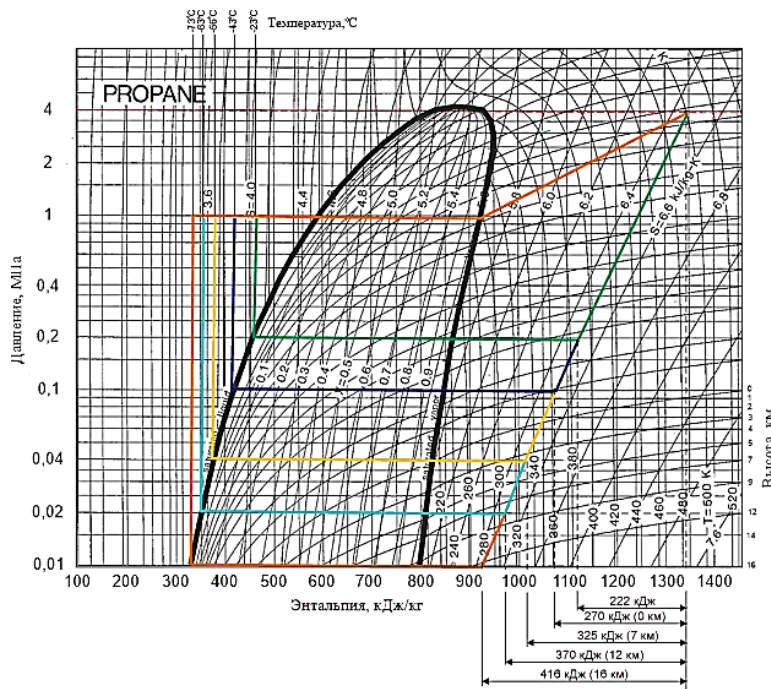


Рисунок 3. Зависимость работы, совершаемой пропаном в ORC турбине от разрежения в ресивере конденсаторе и высоты над уровнем моря для пропана

1.5. Создание глубокого разрежения в ресивере-конденсаторе значительно ниже атмосферного давления с помощью вакуумного насоса. Такое решение может быть использовано на железнодорожном и водном транспорте, а также в стационарных объектах. Далее с целью предотвращения безвозвратных потерь рабочего тела, откачанная газозвушная смесь компримируется с помощью малоразмер-

ного поршневого компрессора, с последующей подачей в газоразделительную систему, состоящую из мембранных фильтров, где происходит её разделение на рабочее высокомолекулярное рабочее тело и пермеат.

Затем сепарированное рабочее тело в газообразном состоянии направляется обратно в цикл, а пермеат, состоящий из азота, кислорода и других газов см. рисунок 4, отводится наружу.

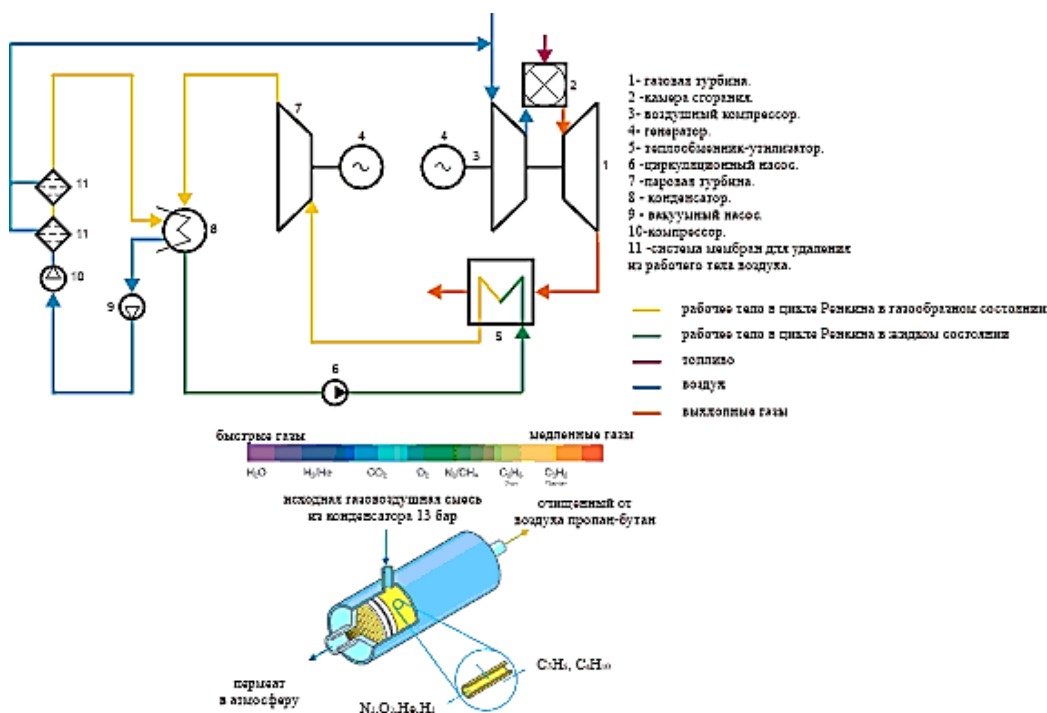


Рисунок 4. Принудительное создание в ресивере-конденсаторе разрежения с последующим разделением откачанной газозвушной смеси на рабочее тело, например, пропан-бутан, и пермеат

Использование данного решения позволяет повысить работу, совершаемую рабочим телом в ORC турбине примерно в 1,87 раза, см. рисунок 3.

1.6. Применение рекуператора в газотурбинном двигателе, который используется для повышения

его эффективности путём подогрева воздуха поступающего от компрессора в камеру сгорания за счёт энергии выхлопных газов, см. рисунок 5.

турбовинтовой двигатель с рекуператором американской компании Turbo Aero типа TA200TP Talon T мощностью 200 л.с.

турбовинтовой двигатель с рекуператором французской компании Turbotech типа TP-R90 мощностью 130 л.с.

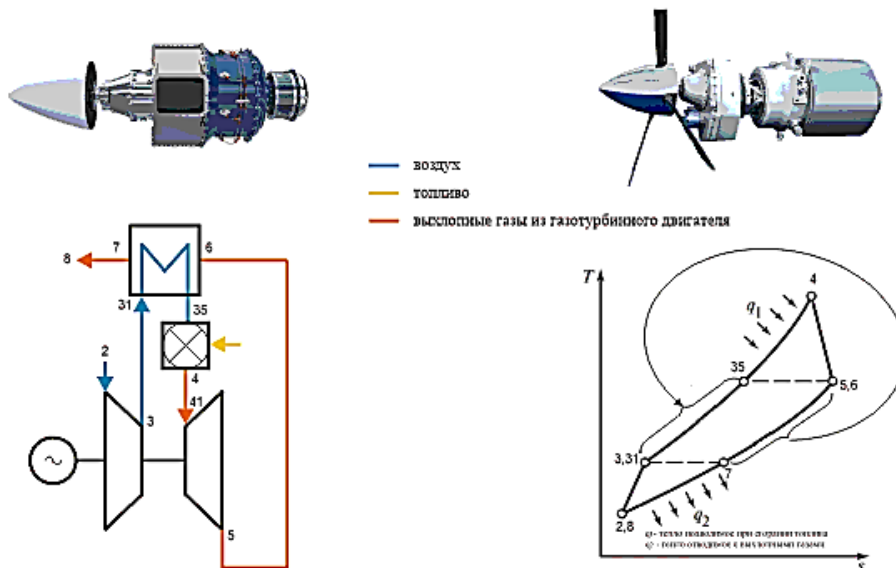


Рисунок 5. Использование рекуператора для повышения эффективности газотурбинного двигателя

Использование рекуператора позволяет повысить эффективность исходного газотурбинного двигателя на 6,86%.

1.7. Использование двух контуров давления в органическом цикле Ренкина: контура высокого и

низкого давления. В контуре высокого давления используется ORC турбина, а в контуре низкого давления ORC турбина, работающая в режиме турбодетандера, см. рисунок 6.

Данное решение, позволяет увеличить эффективность газотурбинного двигателя на 21,33%.

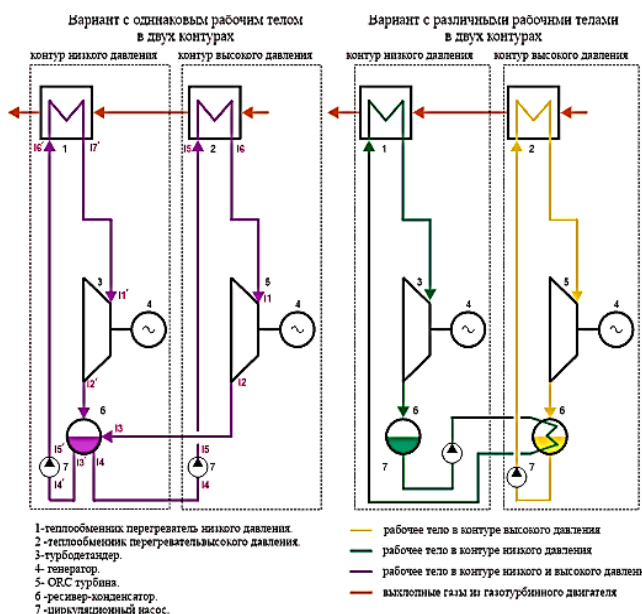
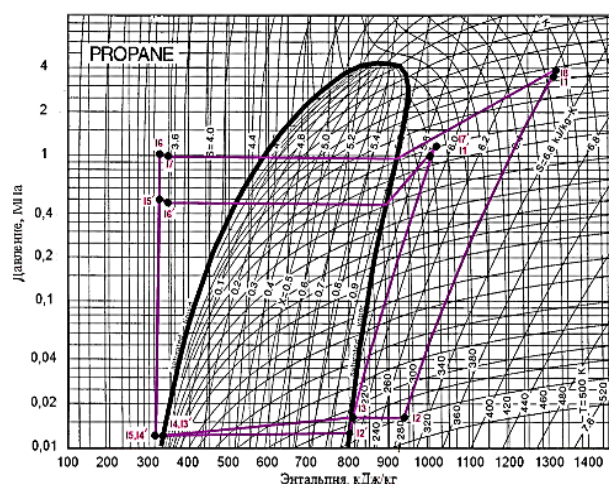


Рисунок 6. Использование двух контуров давления в органическом цикле Ренкина с целью повышения эффективности цикла

1.8. Конденсация рабочего тела из ORC турбины в ресивере-конденсаторе за счёт сжиженного,

охлаждённого до криогенной температуры рабочего тела из турбодетандера, см. рисунок 6.



1.9. Применение электрической схемы со статическими преобразователями напряжения, в которой требуемые для потребителей напряжения генерируются с помощью полупроводниковых преобразователей. В данном решении все генераторы работают

на общую электрическую шину постоянного тока в связи с чем нет необходимости синхронизировать частоты вращения генераторов, см. рисунок 7.

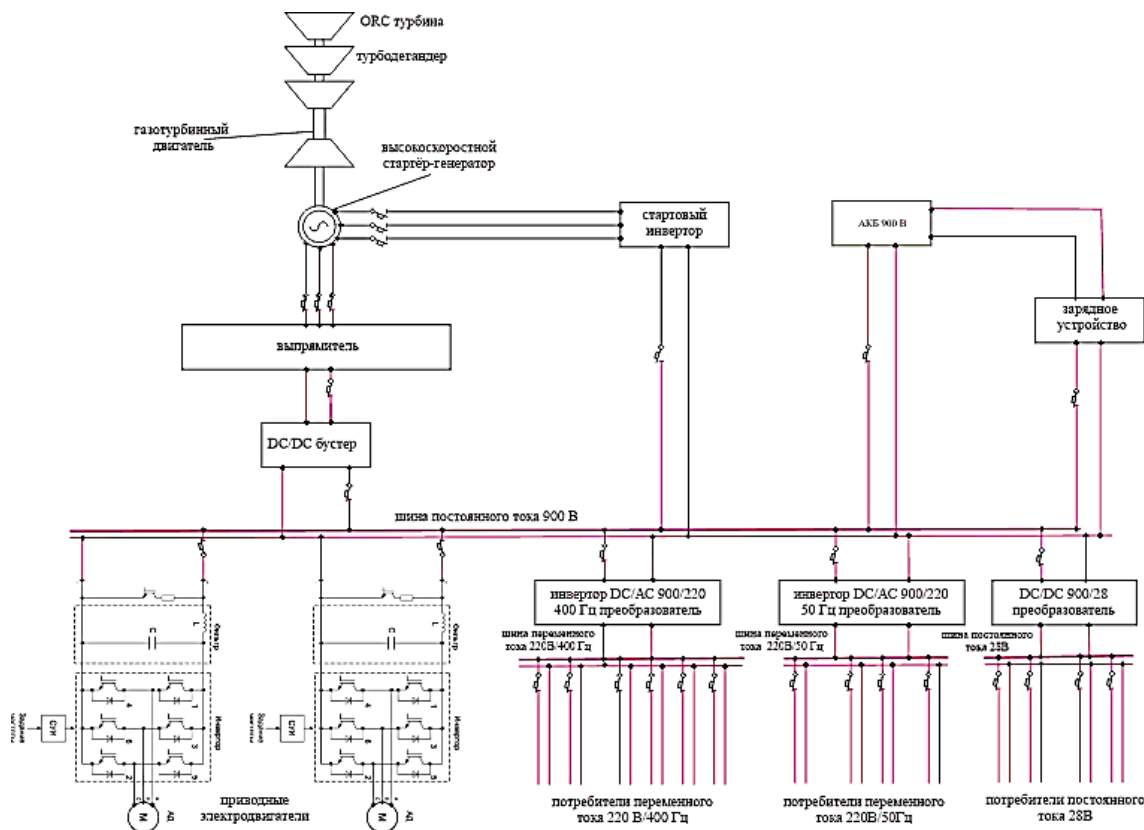


Рисунок 7. Однолинейная электрическая схема

1.10. Использование в контуре высокого давления рекуперации тепла, содержащегося в рабочем теле за ORC турбиной для подогрева рабочего тела, поступающего из ресивера конденсатора в теплооб-

менник перегревателя высокого давления, см. рисунок 8. Данное решение позволяет вернуть обратно в цикл тепло, которое было бы безвозвратно потеряно в ресивере-конденсаторе.

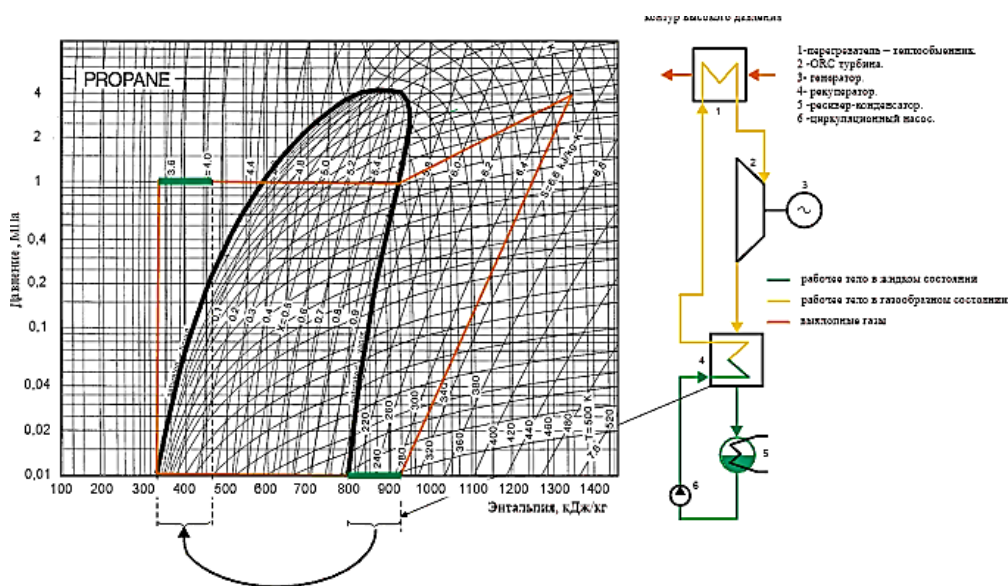
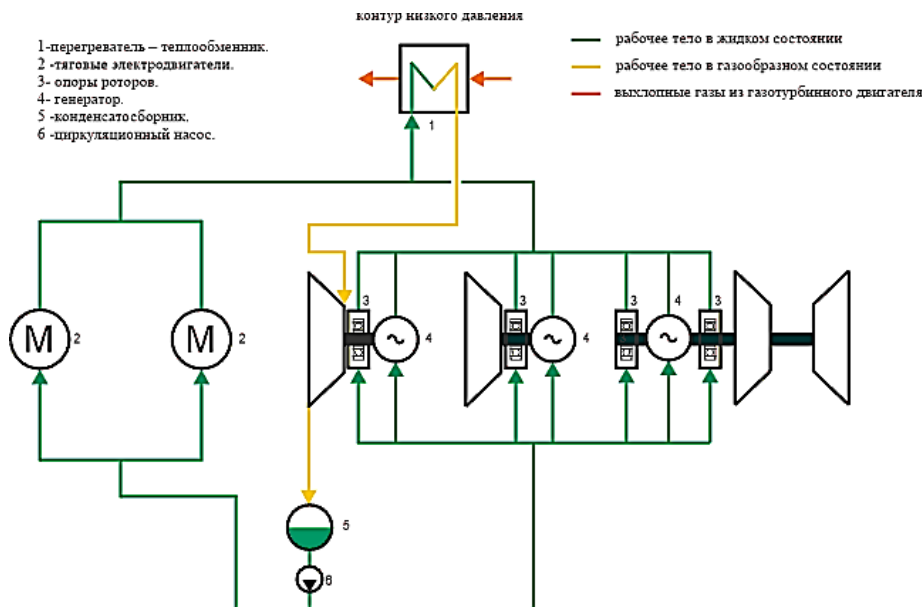


Рисунок 8. Использование рекуператора в контуре высокого давления для повышения эффективности ORC турбины

Использование рекуператора позволяет повысить эффективность на 4,73%.

1.11. Предварительный подогрев рабочего тела, поступающего в теплообменник перегреватель низкого давления за счёт тепла, выделяемого в опорах роторов и обмотках статоров генераторов и тяговых

электродвигателей, см. рисунок 9. Данное решение позволяет использовать тепло, безвозвратно теряемое при охлаждении статоров электрических машин и статических преобразователей напряжения, которое позволяет повысить эффективность на 0,61%.

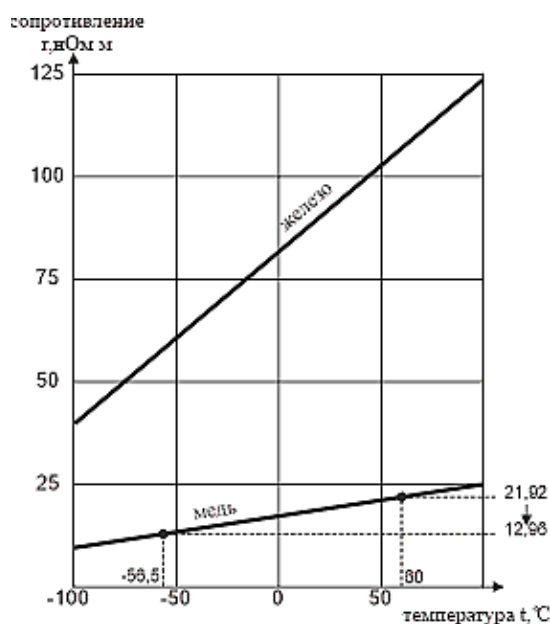


**Рисунок 9. Предварительный подогрев рабочего тела за счёт энергии, выделяемой в обмотках статоров электрических машин и опор роторов**

1.12. Снижение температуры статоров электрических машин от плюс 50...60 до минус -56,5 °С за счёт прокачки рабочего тела с криогенной температурой: данное решение снижает потери с 5 до 2,2%

и как следствие повышает эффективность с 95 до 97,8 %.

Снижение потерь объясняется снижением электрического сопротивления медных проводников статоров в 1,7 раза, см. рисунок 10.



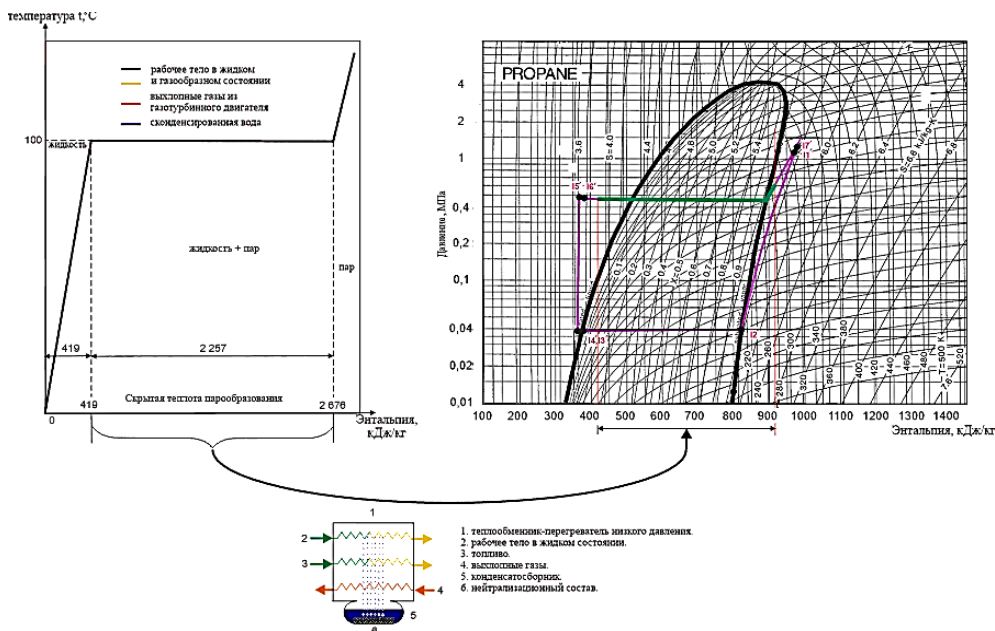
**Рисунок 10. Зависимость сопротивления меди и железа от температуры**

1.13. Использование тепла выхлопных газов и скрытой теплоты парообразования в теплообмен-

нике перегревателе низкого давления за счёт охлаждения выхлопных газов ниже точки росы: такое

охлаждение возможно за счёт начальной криогенной температуры рабочего тела в ресивере-конденсаторе минус 56,5 °С, которая остаётся достаточно

низкой (отрицательной), даже после его подогрева в обмотках статоров электрических машин и статических преобразователей напряжения, см. рисунок 11.



**Рисунок 11. Охлаждение выхлопных газов ниже точки росы с целью использования скрытой теплоты парообразования в органическом цикле Ренкина**

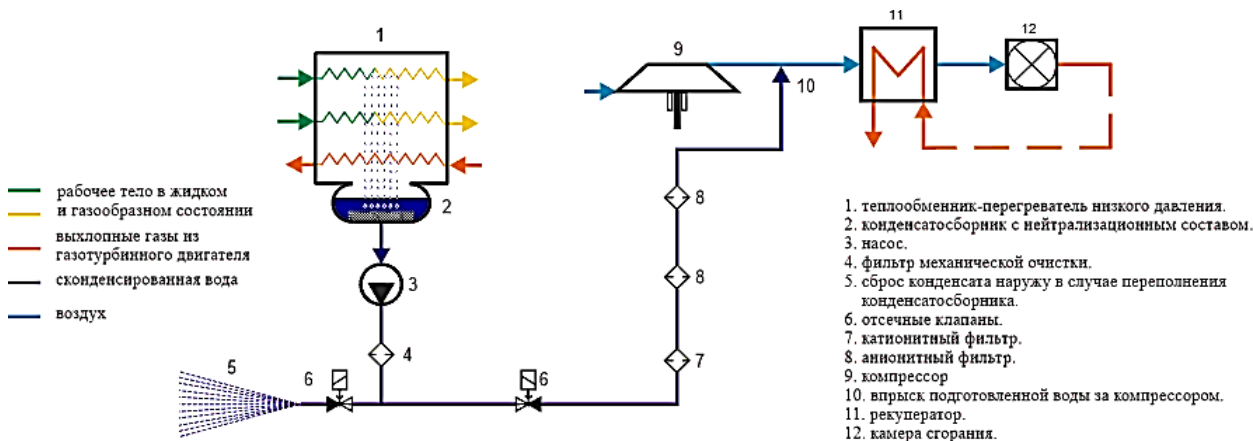
Из результатов расчётов следует, что скрытая теплота парообразования при охлаждении выхлопных газов ниже точки росы при впрыске воды перед рекуператором газотурбинного двигателя позволяет получить примерно в 5,2 раз больше тепла, содержащегося в газовой составляющей выхлопных газов при их охлаждении от 60 до 15 °С.

Данное решение позволяет увеличить эффективность на 8,54%.

1.14. Использование воды, сконденсировавшейся в теплообменнике перегревателе низкого давления:

- для водоснабжения морских судов и электростанций, эксплуатирующихся в условиях дефицита пресной воды;

- для получения пара, который подаётся в камеру сгорания для одновременного повышения мощности и эффективности установки (энергетический впрыск), а также снижения уровней эмиссии по NO<sub>x</sub>, CO и CO<sub>2</sub> (экологический впрыск). При этом образование пара происходит в два этапа: на первом этапе обессоленная, прошедшая катионитную и анионитную очистку вода распыляется и испаряется за воздушным компрессором, а затем поступает в рекуператор, после чего на втором этапе гомогенная паровоздушная смесь поступает в камеру сгорания, см. рисунок 12.



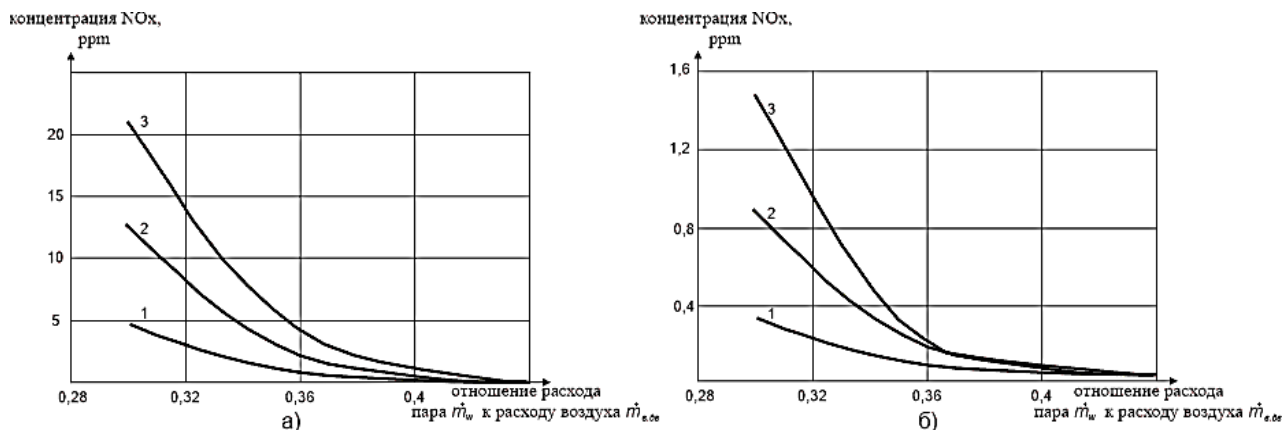
**Рисунок 12. Сбор сконденсированной воды в теплообменнике испарителе низкого давления, её обессоливание и впрыск за компрессором газотурбинного двигателя для повышения эффективности, мощности и снижения уровней эмиссии по NO<sub>x</sub> и CO**

Впрыск пара в камеру сгорания ГТУ позволяет повысить мощность газотурбинного двигателя, разгрузить воздушный компрессор за счёт снижения коэффициента избытка воздуха в камере сгорания, снизить температуру сгорания и продлить срок службы камеры и турбины, а также уменьшить выбросы вредных веществ. Также использование впрыска пара позволяет иметь при одинаковой эффективности газотурбинного значительно меньшую степень повышения давления в компрессоре.

Впрыск пара на рассматриваемом газотурбинном двигателе позволяет повысить его эффективность на 1,92%.

1.15. Впрыск пара в камеру сгорания для снижения уровней эмиссии по  $NO_x$  и  $CO$ .

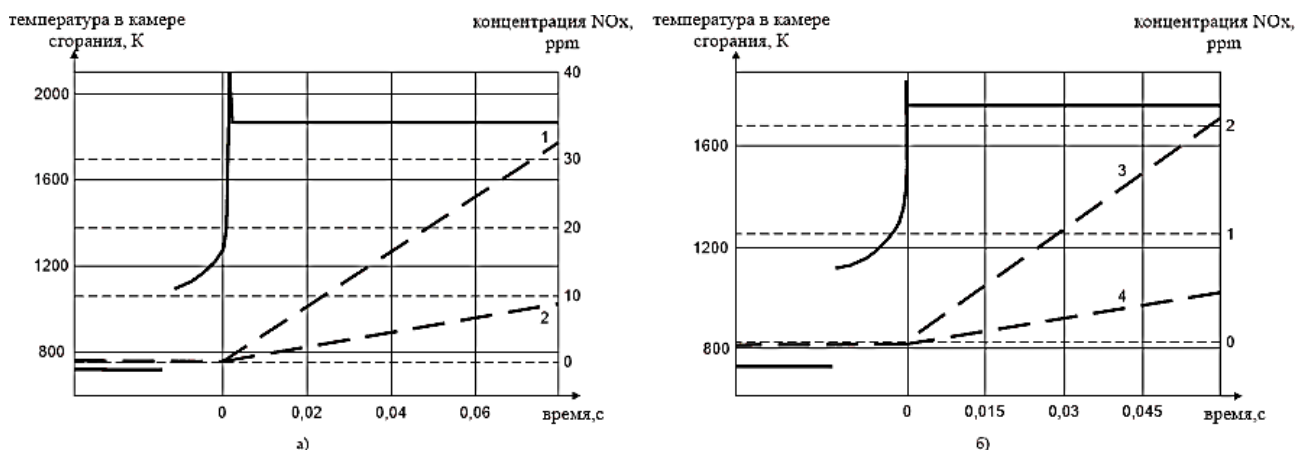
На рисунок 13 показано влияние впрыска пара в диффузионной камере сгорания на образование оксидов азота  $NO_x$  при температуре 1 327 °С и давлении 50 бар при различных коэффициентах избытка воздуха  $\alpha_{кс}$ , отношениях впрыскиваемого пара к расходу воздуха и временах нахождения продуктов сгорания в камере [15].



**Рисунок 13. Зависимость концентрации оксидов азота  $NO_x$  и угарного газа  $CO$  от соотношения расхода пара к расходу воздуха для коэффициентов избытка воздуха  $\alpha_{кс}=1,2$  а) и  $\alpha_{кс}=1,4$  б) при различных временах пребывания продуктов сгорания в камере при давлении 50 бар: 1- 0,01 с, 2-0,03, 3-0,05 с**

На рисунок 14 показано влияние температуры и концентрации оксидов азота  $NO_x$ , времени горения смеси метана в воздухе в гомогенной в камере сго-

рания для разных соотношений расходов пара к расходу воздуха, давлению 50 бар и температуре 700 К, [15].



**Рисунок 14. Зависимость концентрации оксидов азота  $NO_x$  и температуры продуктов сгорания от времени их нахождения в камере при сгорании метана в воздухе при температуре 700 К и 50 бар при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha_{кс}=1,2$ , при отношениях впрыскиваемого массового расхода пара к массовому расходу воздуха 0,3 (1), 0,35 (2), 0,4 (3) и 0,45 (4)**

На рисунке 15 представлены результаты расчетов уровней эмиссии оксидов  $NO_x$  и  $CO$  при впрыске

пара в камеру сгорания [1] и [3], выполненные различными авторами.

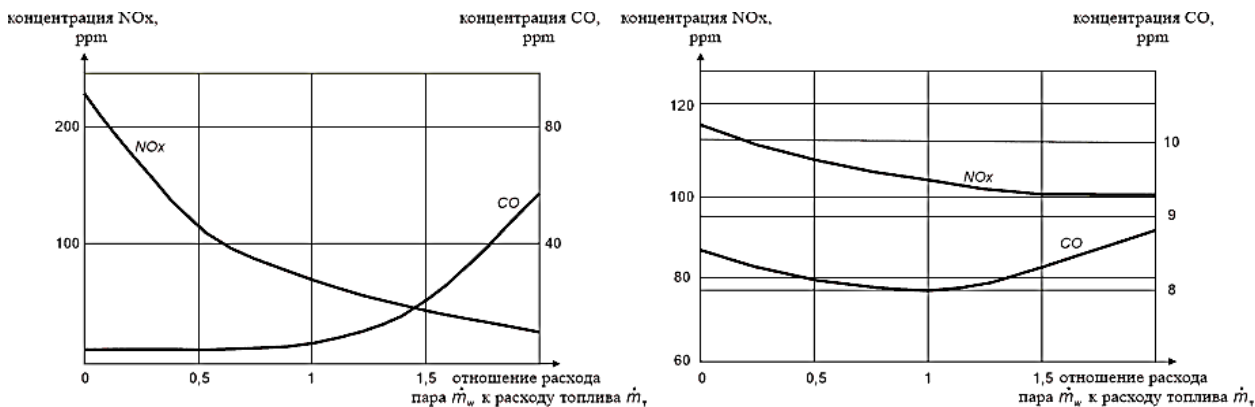


Рисунок 15. Влияние впрыска пара в камеру сгорания на образование  $NO_x$  и  $CO$ ,  $r_{w.t.} = \frac{\dot{m}_w}{\dot{m}_t}$  из разных источников [1] и [3]

Из представленных на рисунке 15 графиков следует, что выбор отношения массового расхода пара к массовому расходу топлива для одновременного снижения уровней эмиссии по  $NO_x$  и  $CO$  является компромиссным решением, поскольку с одной стороны увеличение отношения расхода пара к расходу топлива ведёт к увеличению эффективности газотурбинного двигателя и снижению эмиссии по

$NO_x$ , а с другой ведёт к увеличению выбросов угарного газа  $CO$  в связи со снижением температуры в стехиометрических зонах горения.

1.16. Поглощение углекислого  $CO_2$  и угарного газа  $NO_x$  в теплообменнике испарителя контура низкого давления при охлаждении выхлопных газов ниже точки росы: см. рисунки 16 и 17, [10] и [15].

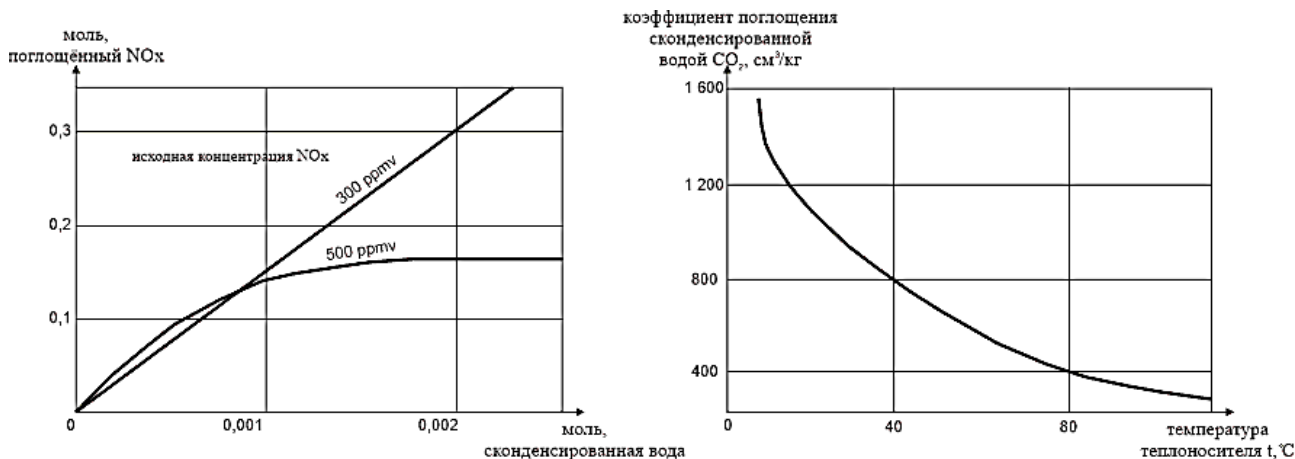


Рисунок 16. Поглощение сконденсированной водой  $CO_2$  [15] и  $NO_x$  [10]

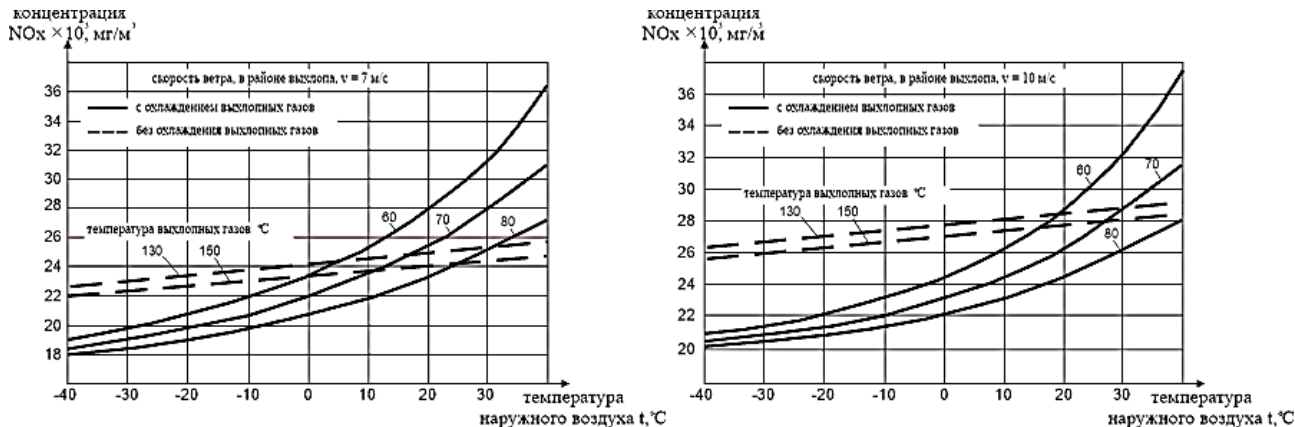


Рисунок 17. Пример поглощения  $NO_x$  сконденсированной водой при глубоком охлаждении выхлопных газов газового парового котла [10]

1.17. Подготовка воды, используемой для получения пара, впрыскиваемого в камеру сгорания.

В Таблице 1 представлен химический состав конденсата, который образуется в конденсационном газовом котле при его полной конденсации, [11], а также оценка концентраций в случае впрыска пара в

зону горения при отношении расхода пара к расходу газообразного топлива равному 6, а в Таблице 2 [14] требования компании General Electric к качеству воды, используемой для получения пара, впрыскиваемого в камеру сгорания.

Таблица 1.

**Химический состав конденсата, который образуется в конденсационном газовом котле без впрыска и с впрыском пара в зону горения в 6 раз превышающих расход топлива**

№ п/п	Наименование параметра	Единица измерения	Значение	
			Без впрыска пара в зону горения	С впрыском пара в зону горения (оценка)
1	Неорганические параметры рН	мг/дм <sup>3</sup>	3,09	0,52
2	Аммиак и соли аммония	мг/дм <sup>3</sup>	3,41	0,57
3	Аммиачный азот	мг/дм <sup>3</sup>	2,65	0,44
4	Нитратный азот	мг/дм <sup>3</sup>	62,5	10,41
5	Нитраты	мг/дм <sup>3</sup>	277	46,16
6	Нитритный азот	мг/дм <sup>3</sup>	0,115	0,019
7	Нитриты	мг/дм <sup>3</sup>	0,374	0,062
8	Сульфаты (SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup> )	мг/дм <sup>3</sup>	37,2	6,2
9	Хлориды	мг/дм <sup>3</sup>	0,524	0,09
10	Фториды	мг/дм <sup>3</sup>	0,267	0,044
11	Щелочность 4.5	ммоль/дм <sup>3</sup>	<0,150	<0,025
12	Щелочность 8.3	ммоль/дм <sup>3</sup>	<0,150	<0,025
13	Кислотность 4,5	ммоль/дм <sup>3</sup>	2,68	≈ 6
14	Кислотность 8,5	ммоль/дм <sup>3</sup>	5,46	≈ 6,5
15	Органические соединения	ммоль/дм <sup>3</sup>	0,96	0,16

Таблица 2.

**Требования к качеству воды, используемой для получения пара впрыскиваемого в камеру сгорания для газотурбинных двигателей компании General Electric**

№ п/п	Наименование параметра	Единица измерения	Значение
1	Общее содержание взвешенных и растворённых веществ	мг/дм <sup>3</sup>	5
2	Кислотность	мг/дм <sup>3</sup>	6-8
3	Электропроводность	μS/см	<1
4	Калий, общее количество: воздух + топливо + вода	ppm	0,2
5	Кремний	мг/дм <sup>3</sup>	0,1
6	Хлориды	мг/дм <sup>3</sup>	0,5
7	Сульфаты	мг/дм <sup>3</sup>	0,5

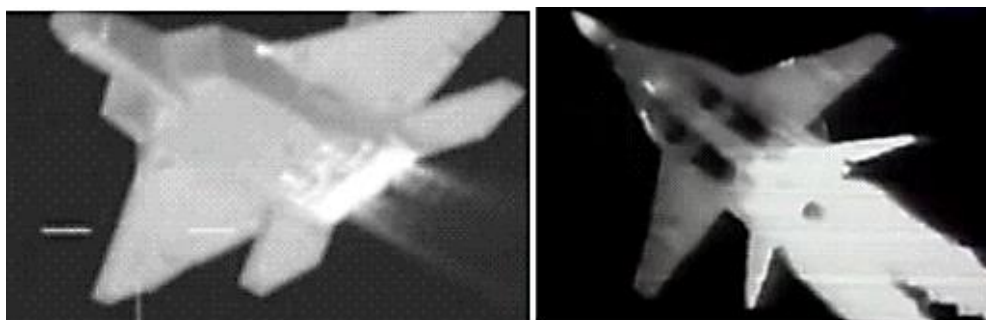
Из представленных данных в Таблицах 1 и 2, а также на рисунке 16 следует, что сконденсированная вода перед впрыском в двигатель для получения пара должна подвергаться очистке от солей: также впрыск пара существенно снижает концентрацию поглощённых выбросов в сконденсированной воде, что существенно упрощает задачу очистки (обессоливания) воды.

1.17. Использование газообразного топлива и охлаждения выхлопных газов ниже точки росы, например, до плюс 15 °С, позволяет исключить из выхлопных газов сажистые частицы и воду. Данное решение позволяет, например, для летательного аппарата, снизить уровень его заметности в видимом, инфракрасном и ультрафиолетовом диапазоне электромагнитного спектра, см. рисунки 18 и 19.





**Рисунок 18. Примеры демаскирования летательных аппаратов в видимом диапазоне спектра струями выхлопных газов, содержащие сажистые частицы и воду**

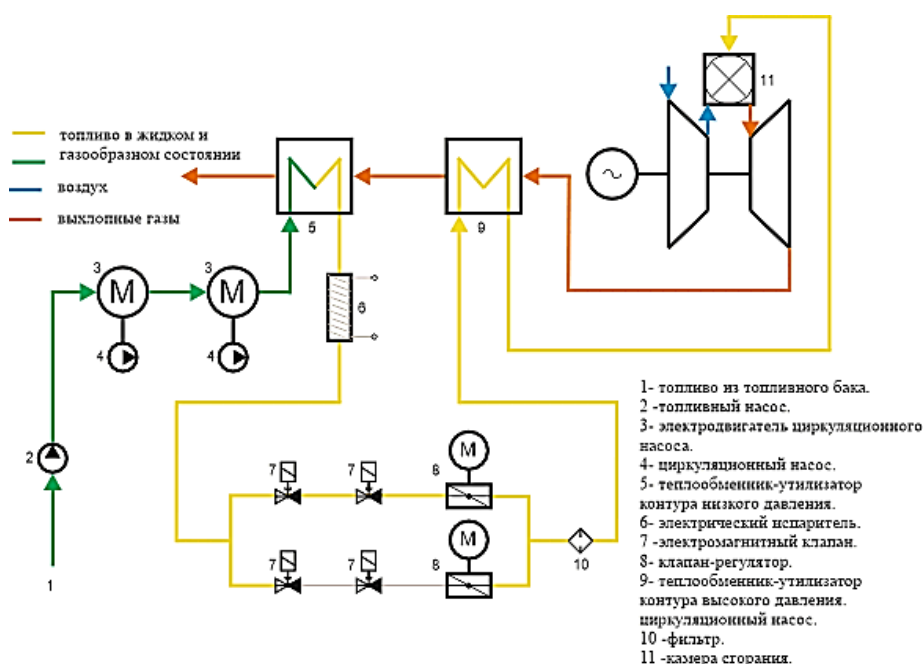


**Рисунок 19. Примеры сигнатур двух истребителей в инфракрасном диапазоне спектра с различными температурами струй выхлопных газов и содержанием сажистых частиц**

1.18. Использование гомогенной камеры сгорания, в которую предварительно смешанные с воздухом топливо и пар и поступают в газообразном состоянии.

Перед подачей в камеру жидкое топливо последовательно нагревается в статорах электродвигателей циркуляционных насосов от температуры -56,5

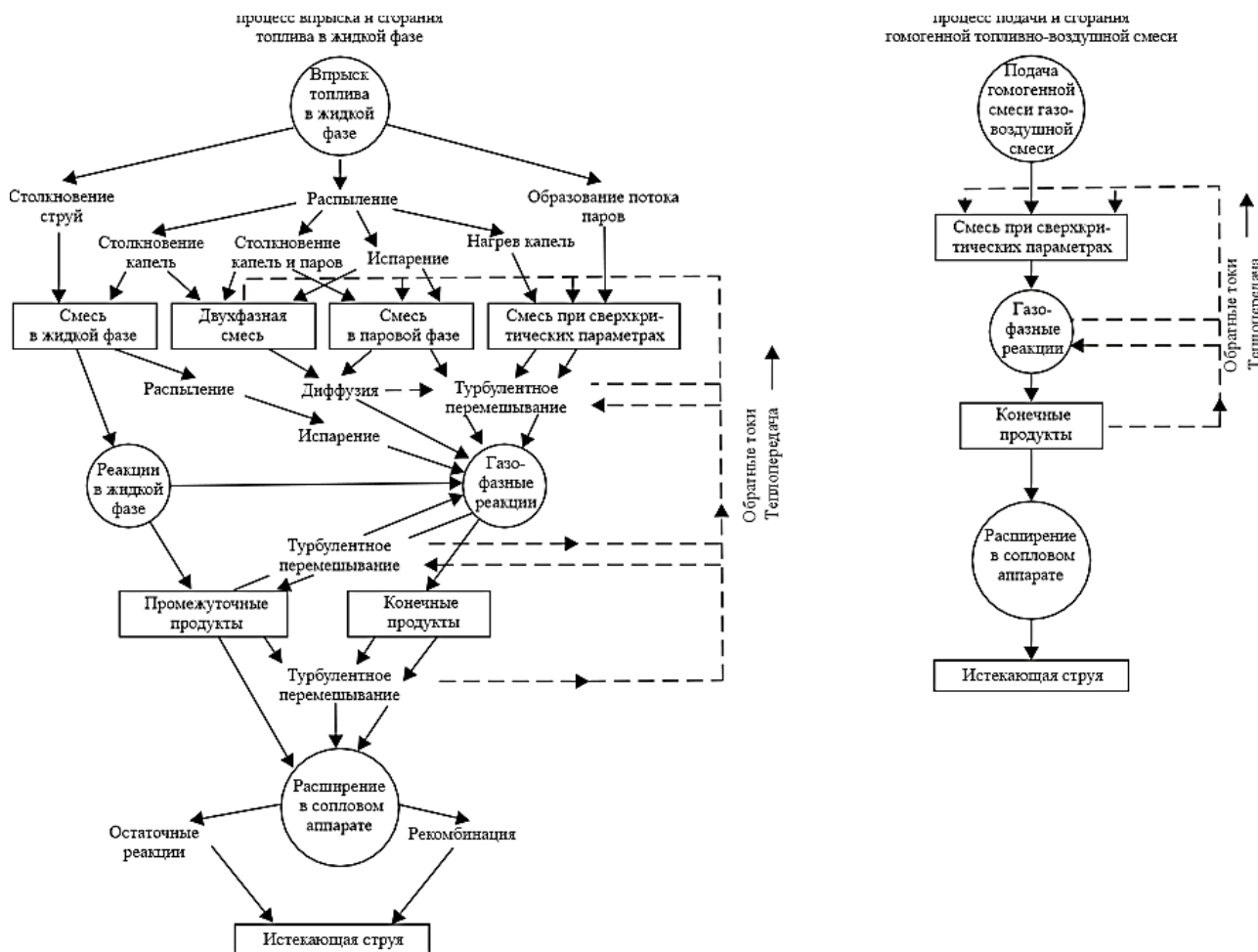
°С, а затем испаряется и перегревается в теплообменниках перегревателей низкого и высокого давления до температуры выхлопных газов, см. рисунок 20: при этом дозирование топлива осуществляется в газообразном состоянии перед его нагревом до температуры выхлопных газов.



**Рисунок 20. Подача топлива в камеру сгорания в газообразном состоянии с предварительным подогревом, испарением и перегревом за счёт тепла, выделяемого в обмотках статоров циркуляционных насосов и выхлопных газов**

Данное решение позволяет увеличить КПД рассматриваемого газотурбинного двигателя с рекуператором примерно на 1,28%.

На рисунке 21 показаны процессы горения топлива в жидком и газообразном состоянии [2] в диффузионной и гомогенной камерах сгорания.



**Рисунок 21. Сравнение процессов горения топлива в диффузионной и гомогенной камере сгорания в жидком и газообразном состоянии**

Как следует из рисунка 21 процесс образования газовой смеси в гомогенной камере сгорания происходит вне объёма факела. Поэтому горение в гомогенном факеле протекает интенсивнее и полностью завершается на небольшом участке, а факел получается коротким и несветящимся. При этом значительно повышается полнота сгорания и уменьшается коэффициент избытка воздуха [4], а также образуется более равномерное поле температур на входе в турбину.

В диффузионном факеле, в котором обычно происходит горение жидкого топлива процессы смешения и горения протекают в реакционном объёме. В данном случае лимитирующим является процесс смесеобразования в связи с чем диффузионный факел, в котором происходит горение жидкого топлива, оказывается значительно более протяжённым, чем гомогенный.

Следствием этого является значительно большее время нахождения продуктов сгорания в диффузионной камере чем в гомогенной, см. рисунок 21.

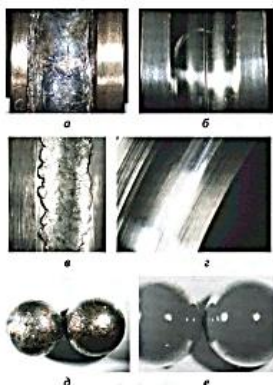
Таким образом предлагаемое решение по использованию гомогенной камеры сгорания с горением нагретого топлива в газообразном состоянии позволяет не только повысить эффективность газотурбинного двигателя, но и существенно снизить уровень эмиссии по  $NO_x$  в связи с существенным сокращением времени нахождения продуктов сгорания в камере, например, за счёт сокращения её размеров, см. рисунки 13 и 14.

1.19. Исключение из конструкции установки масляной системы за счёт использования для охлаждения опор роторов рабочего тела, которое используется в органическом цикле Ренкина, см. рисунок 9;

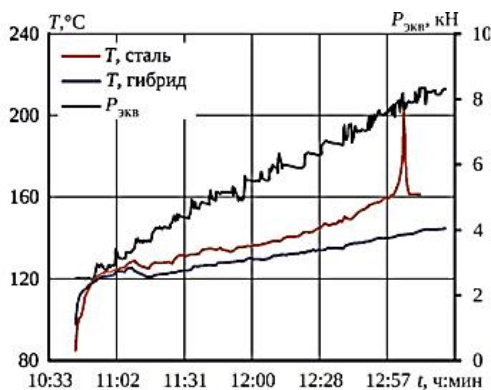
1.20. Использование в качестве опор роторов установки:

- гибридных и керамических подшипников качения см. рисунок 22;





Состояние деталей стального и гибридного подшипников после испытаний с прекращением подачи масла: дорожки качения внутреннего кольца стального (а) и гибридного (б) подшипников; дорожка качения наружного кольца стального (е) и гибридного (с) подшипников; е- керамические тела качения; д-стальные тела качения



Температура наружного кольца стального и гибридного подшипников при испытаниях без подачи масла



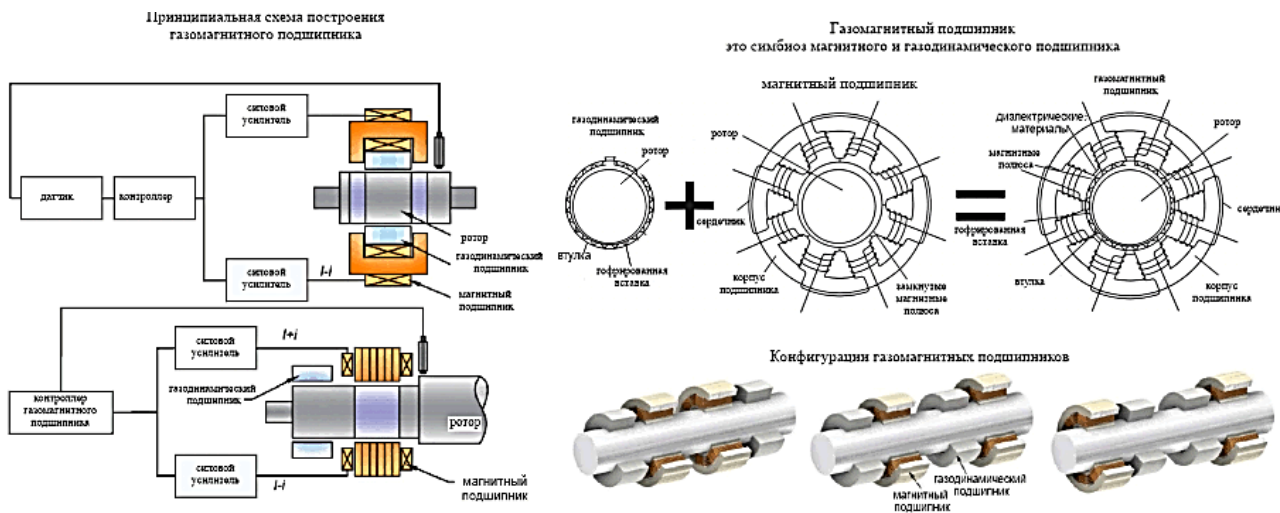
Общий вид керамических и гибридных подшипников

**Преимущества керамических и гибридных подшипников**

1. Высокая скорость и ускорения.
2. Долгий срок службы и износостойкость: срок службы гибридных керамических подшипников, например: HCB71904-C-T-P4S-UL примерно в 3-5 раз больше, чем у подшипников из хромистой стали.
3. Низкий коэффициент трения керамических, поэтому требуется значительно меньше смазки.
4. Керамический материал является инертным материалом, более устойчивым к коррозии и износу.
5. Благодаря высокому модулю упругости керамических материалов их жесткость на 15-20% больше, чем у обычных стальных подшипников.
6. Момент сопротивления вращения ниже примерно на 1/3 чем у стальных подшипников.
7. Способность выдерживать магнетизм и электричество без повреждений.
8. Работоспособность в расширенном температурном диапазоне от -85 и до 900 градусов при соответствующем сепараторе.
9. Стабильность размеров при изменениях температуры.
10. Малый шум.
12. Уменьшенная необходимость в смазке, а в некоторых условиях даже возможность работы без смазки;
13. Большая стойкость к агрессивным веществам.

**Рисунок 22. Использование гибридных и керамических подшипников вместо металлических подшипников качения [13]**

- газо-магнитных подшипников, см. 23, не требующие для обеспечения своей работы масляни- стемы.



Преимущества газомагнитных подшипников

1. Минимальное трение и износ несущих элементов за счёт отсутствия физического контакта.
2. Подшипники не нуждаются в системе смазки.
3. Работа в экстремальных условиях, включая низкие температуры, невесомость и коррозионную среду.
4. Более длительный срока службы по сравнению с обычными подшипниками.
5. Функции динамического тестирования, мониторинга состояния и регистрации данных интегрированы в управляющую электронику.
6. Динамические свойства, жесткость и демпфирование легко измеряются и изменяются с помощью встроенного управляющего программного обеспечения.
7. Изменение динамических свойств подшипников не требует полного перепроектирования и газотурбинного двигателя.
8. Подшипники обладают высокой статической жесткостью.
9. Системы с поддержки ротора позволяют использовать схемы минимизации синхронного тока с исключением передачи сил дисбаланса ротора на статор.
10. Подшипники имеют высокие стабилизирующие свойства и вибростойкость.
11. Подшипники имеют длительный срок службы до 300 тысяч часов.
12. Подшипники имеют очень низкий коэффициент сопротивления вращению.
13. Не требуют постоянного расход электрической энергии для поддержания положения ротора.
15. Обладают высокой грузоподъемностью даже при полностью остановленном роторе.
16. Не требуют больших затрат электрической энергии для разгона ротора как у газодинамических.
17. Отсутствует износ при запуске и останове.

Рисунок 23. Использование газомагнитных подшипников вместо металлических подшипников качения, являющихся симбиозом магнитных и газодинамических

1.21. Использование одновальная двухопорной схемы ротора с положением опор в холодных зонах, запуск газотурбинного двигателя с помощью гене-

ратора, который работает в стартерном режиме вместо традиционной двухвальной с отдельным стартером, см. рисунок 24.

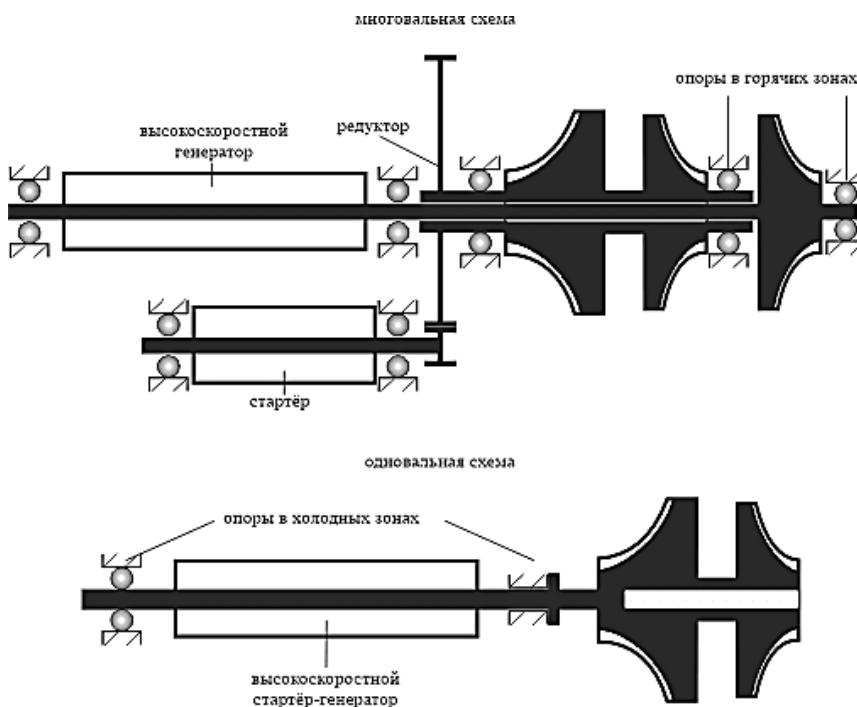


Рисунок 24. Использование одновальная двухопорной схемы ротора с положением опор в холодных зонах, запуск газотурбинного двигателя с помощью генератора, который работает в стартерном режиме

### Выводы

Разработаны технические решения для установок с комбинированным циклом, которые могут быть использованы на водном, наземном и воздушном транспорте, а также стационарных энергетических объектах, которые используются в районах с холодным и жарким климатом, где отсутствуют источники воды, не уступающие по своей эффективности существующим установкам с аналогичной электрической мощностью, которые в цикле Ренкина используют водяной пар.

2. Предложенные технические решения позволяют существенно упростить технологический процесс генерации электрической энергии за счёт использования органического цикла Ренкина с ORC турбинами, в которых в качестве рабочего тела используются высокомолекулярные рабочие тела с невысокими рабочими температурами и давлениями.

3. Технологии ORC турбин (органический цикл Ренкина), также позволяют исключить и сократить:

- систему подпитки котла-утилизатора водой;
- систему продувки котла-утилизатора;
- систему химводоподготовки;
- маслосистему, используемой для обеспечения работы опор роторов;
- специальные системы, обеспечивающих отвод тепла из конденсатора;
- систему деаэрации пара (деаэратор);
- источник воды;
- систему вакуумирования конденсатора, работа которой сопровождается большими безвозвратными потерями воды;
- количество используемых рабочих жидкостей сокращается с шести (масло, вода, топливо, воздух, антифриз, химические реагенты) до одного...двух (топливо и рабочее тело).

3. Предложены следующие технические решения, позволяющие повысить эффективность цикла Брайтона (газотурбинного двигателя):

- рекуператор, который подогревает поступающий в камеру сгорания воздух за счёт энергии выхлопных газов за газовой турбиной: использование данного решения позволяет повысить эффективность, механический КПД газотурбинного двигателя с исходных 25,42 до 32,28 %, способный работать надёжно в связи отсутствием сажистых частиц при сгорании топлива;

- гомогенная камера сгорания, которая использует топливо в газообразном состоянии, последовательно нагреваемое в обмотках статоров циркуляционных насосов и далее теплообменниках перегревателях низкого и высокого давления: использование данного решения, позволяет повысить эффективность с 32,28 до 33,53%;

- впрыск воды за компрессором газотурбинного двигателя, которая испаряется и затем поступает рекуператор, дополнительно в нём перегреваясь перед поступлением в гомогенную камеру сгорания: применение данного решения позволяет поднять эффективность газотурбинного двигателя с

33,53 до 35,48% за счёт повышения удельной теплоёмкости выхлопных газов.

При этом эффективность газотурбинного двигателя 35,48% достигается при использовании одновальной, а не многовальной схемы, в два раза меньшей степени повышения давления в компрессоре и на 160 °С низкой температуре продуктов сгорания на входе в турбину.

4. Предложен способ получения высокоэнергетической паровоздушной смеси в рекуператоре газотурбинного двигателя перед её подачей в камеру сгорания без использования отдельного теплообменника.

5. Предложено решение с двумя контурами, высокого и низкого давления, для повышения эффективности органического цикла Ренкина.

Данное решение в комплексе с дополнительными решениями позволяет увеличить эффективность установки с 35,48 до 72,49%, а мощность с 594 до 1213,83 кВт.

6. Предложен способ, позволяющий обеспечить условия, при которых рабочее тело в ORC турбине совершает значительно большую работу, чем в обычных условиях за счёт:

- глубокого охлаждения рабочего тела с помощью турбодетандера в контуре низкого давления, который связан с контуром высокого давления через ресивер-конденсатор без использования внешнего источника холода;
- конденсации рабочего тела контура высокого давления за счёт использования низкотемпературного рабочего тела из контура низкого давления без использования отдельной системы охлаждения конденсатора;

- принудительного, гарантированного поддержания разрежения в ресивере-конденсаторе с помощью вакуумного насоса, исключающее поступление воздуха во внутрь контура.

7. Предложен способ охлаждения обмоток статоров электрических машин с помощью криогенного рабочего тела используемого в органическом цикле Ренкина, позволяющего повысить КПД генератора  $\eta_{gen}$  и приводных электродвигателей  $\eta_{el.dr}$  с 95 до 97,8% за счёт снижения их сопротивления и исключения отдельной системы охлаждения.

При этом за счёт тепла  $Q_{tbd.gen}$  и  $Q_{tbd.el.dr}$  отводимого из обмоток статоров генератора электродвигателей в контуре низкого давления дополнительно вырабатывается ещё 10,26 кВт мощности.

8. Предложено решение для охлаждения выхлопных газов ниже точки росы с помощью криогенного рабочего тела, позволяющее существенно снизить массу и габариты теплообменника перегревателя низкого давления.

9. Предложен способ повышения эффективности органического цикла Ренкина за счёт использования скрытой теплоты парообразования в контуре низкого давления при охлаждении выхлопных газов ниже точки росы: поступающий в камеру сгорания газотурбинного двигателя пар существенно повышает эффект в связи с конденсацией значительно

большого количества воды, чем только при сгорании топлива.

Так из мощности турбодетандера  $N_{tbd}$  равной 184,74 кВт, 152,39 кВт приходится на вклад от скрытой теплоты парообразования, причём из них 122,528 кВт обеспечивает сконденсированная вода, которая впрыскивается за компрессором, и лишь 29,86 кВт сконденсированная вода, образующаяся при сгорании топлива. Оставшиеся мощность 32,35 кВт вырабатывается за счёт тепла выхлопных газов.

10. Предложено решение, позволяющие снизить риски наступления термической деструкции рабочего тела, используемого в контуре высокого давления за счёт снижения температуры выхлопных на входе теплообменник-перегреватель высокого давления с 600...700 до 350...460 °С за счёт использования рекуператора в газотурбинном двигателе.

11. Предложено решение по снижению уровней эмиссии в камере сгорания за счёт впрыска пара, для генерации которого используется сконденсированная вода, получаемая при охлаждении выхлопных газов ниже точки росы.

12. Предложено решение по снижению уровней эмиссии выхлопных газов за счёт их поглощения конденсируемой водой, образующейся при охлаждении выхлопных газов ниже точки росы.

13. Предложены следующие технические решения с целью упрощения конструкции газотурбинного двигателя:

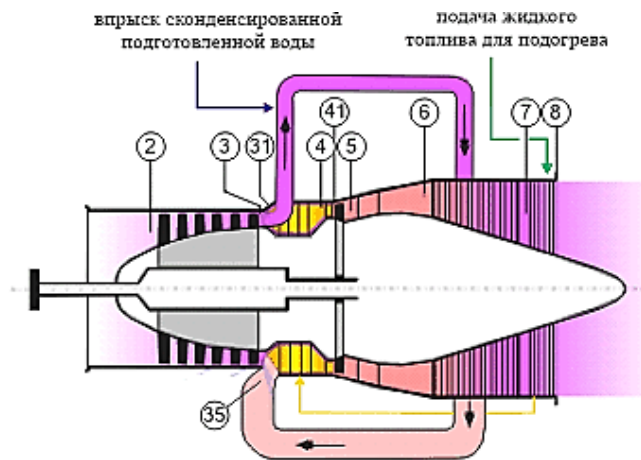
- использование керамических, гибридных и газомангнитных подшипников вместо обычных металлических качения для опор роторов;
- использование электрического генератора вместо стартера для запуска газотурбинного двигателя;
- исключение маслосистемы;
- размещение опор ротора в холодных зонах;
- использование одновальной схемы для газотурбинного двигателя вместо двухвальной с опорами в холодных зонах;
- упрощения конструкции компрессора за счёт снижения степени повышения давления с 8...9 до 4,2.

**2. Исходные данные для предварительных расчётов концептуальной турбоэлектрической установки, в которой реализованы предлагаемые технические решения**

**2.1. Исходные данные для расчёта параметров газотурбинного двигателя**

За основу для расчёта был принят перспективный газотурбинный турбовальный двигатель мощностью 594 кВт с характеристиками для стандартных атмосферных условий.

В Таблице 3 представлены исходные данные, которые были приняты для расчётов в программе Gasturb, а на рисунок 25 представлена используемая расчётная схема.



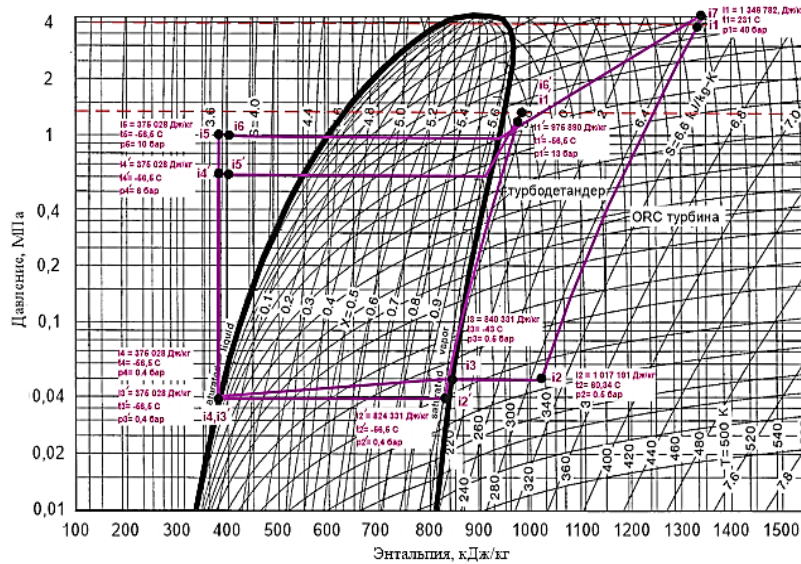
**Рисунок 25. Расчётная схема для расчёта параметров газотурбинного двигателя**

**2.2. Исходные данные для расчёта параметров ORC турбин**

На рисунке 26 представлена диаграмма Мольера для пропана с нанесёнными рабочими циклами, а

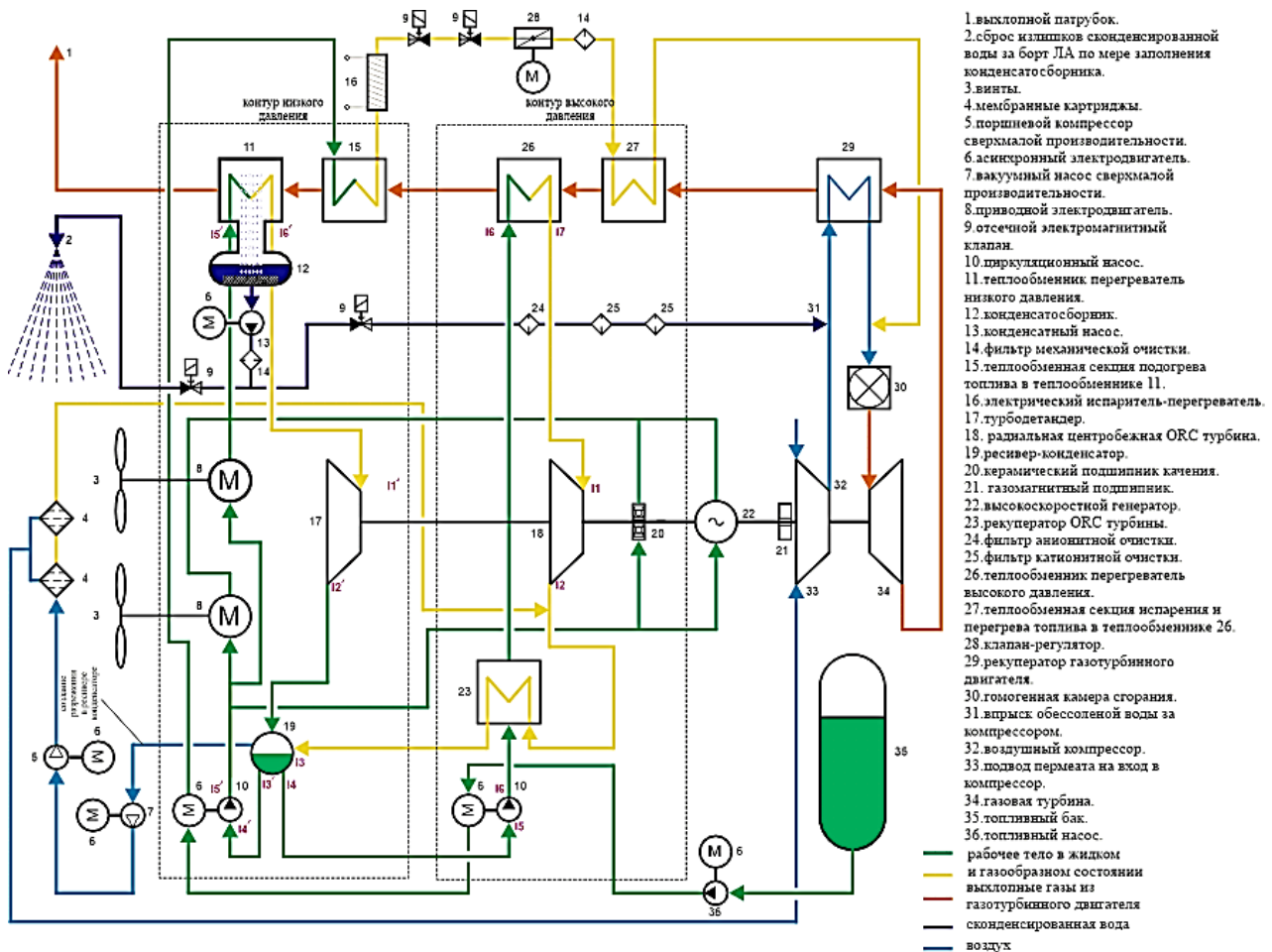
также энтальпии, температуры и давления, которые были использованы для расчётов.





**Рисунок 26. Диаграмма Мольера для пропана с нанесёнными рабочими циклами, а также энтальпии, температуры и давления схема, которые была использованы для расчётов**

На рисунке 27 представлена технологическая схема, с учитывающая предложенные технические решения, которая использовалась для расчётов.



**Рисунок 27. Технологическая схема, используемая для проведения расчётов**

### 3. Результаты расчётов

Таблица 3.

Результаты расчётов основных параметров установки

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Значение	
				без впрыска воды	с впрыском воды
1	Мощность газотурбинного двигателя (механическая)	$N_{gt}$	кВт	594	594
2	Мощность газотурбинного двигателя (электрическая)	$N_{gt.el}$	кВт	582,12	582,12
3	Суммарная мощность ORC турбины и турбодетандера (механическая)	$N_{\Sigma ORC+tb}$	кВт	466,48	619,83
4	Суммарная мощность ORC турбины и турбодетандера (электрическая)	$N_{\Sigma ORC+tb.el}$	кВт	457,15	607,43
5	Суммарная мощность установки (механическая брутто)	$N_{\Sigma b}$	кВт	1 060,58	1 213,83
6	Затраты электроэнергии на привод насосов и компрессоров	$N_{com+pum}$	кВт	22	34
7	Суммарная мощность установки (электрическая нетто)	$N_{\Sigma el.b}$	кВт	1 017,37	1 155,55
8	КПД установки (механический)	$\eta_{m.b}$	%	57,64	72,49
9	КПД установки (электрический брутто)	$\eta_{el.b}$	%	56,48	71,44
10	КПД установки (электрический нетто)	$\eta_{el.n}$	%	55,29	69,01
11	Удельный расход топлива установки (нетто)	$g_{e.n}$	кг/кВт ч	0,14	0,1127
12	Удельный расход топлива установки (нетто)	$g_{e.n}$	кг/л.с. ч	0,1029	0,089

### 4. Эскизная компоновка установки, выполненная по одновальной схеме

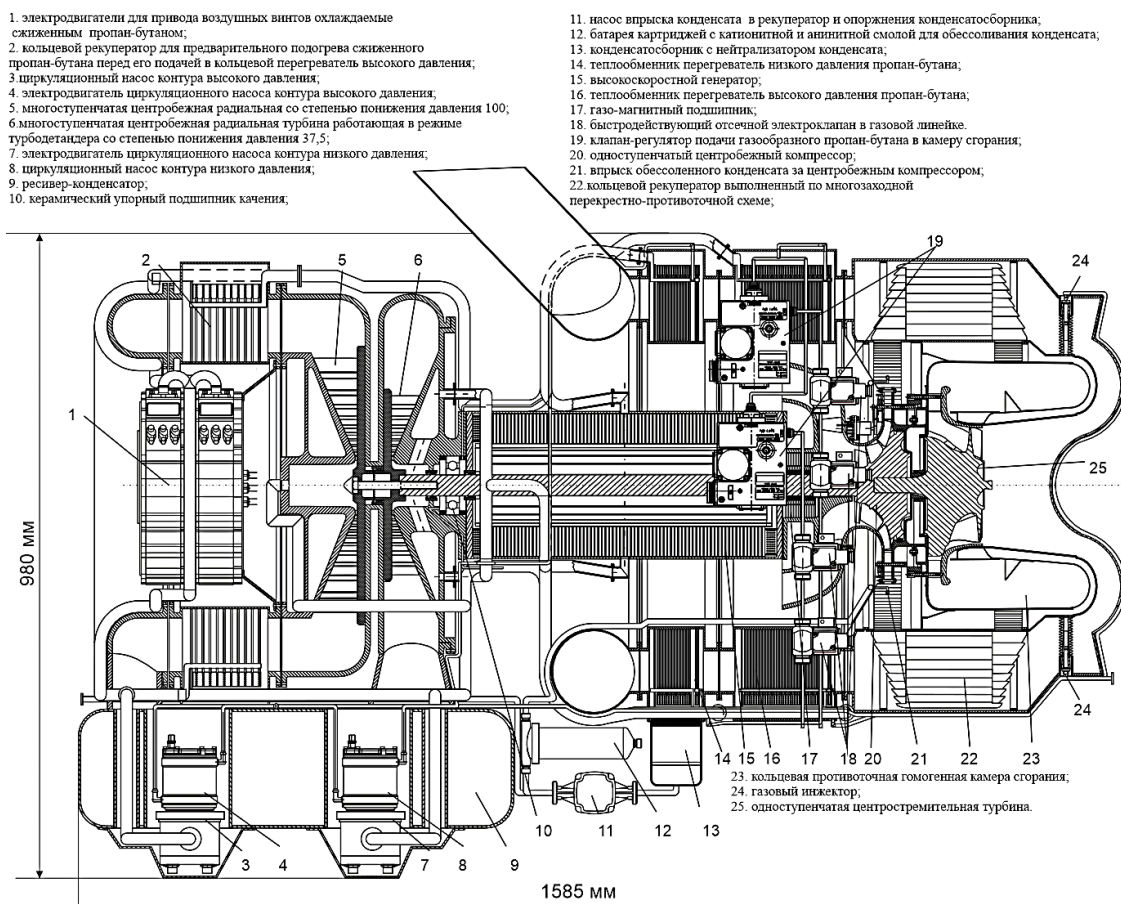


Рисунок 28. Эскизная компоновка установки, выполненная по одновальной схеме

5. Принципиальные схемы, отображающие процессы, протекающие внутри установки

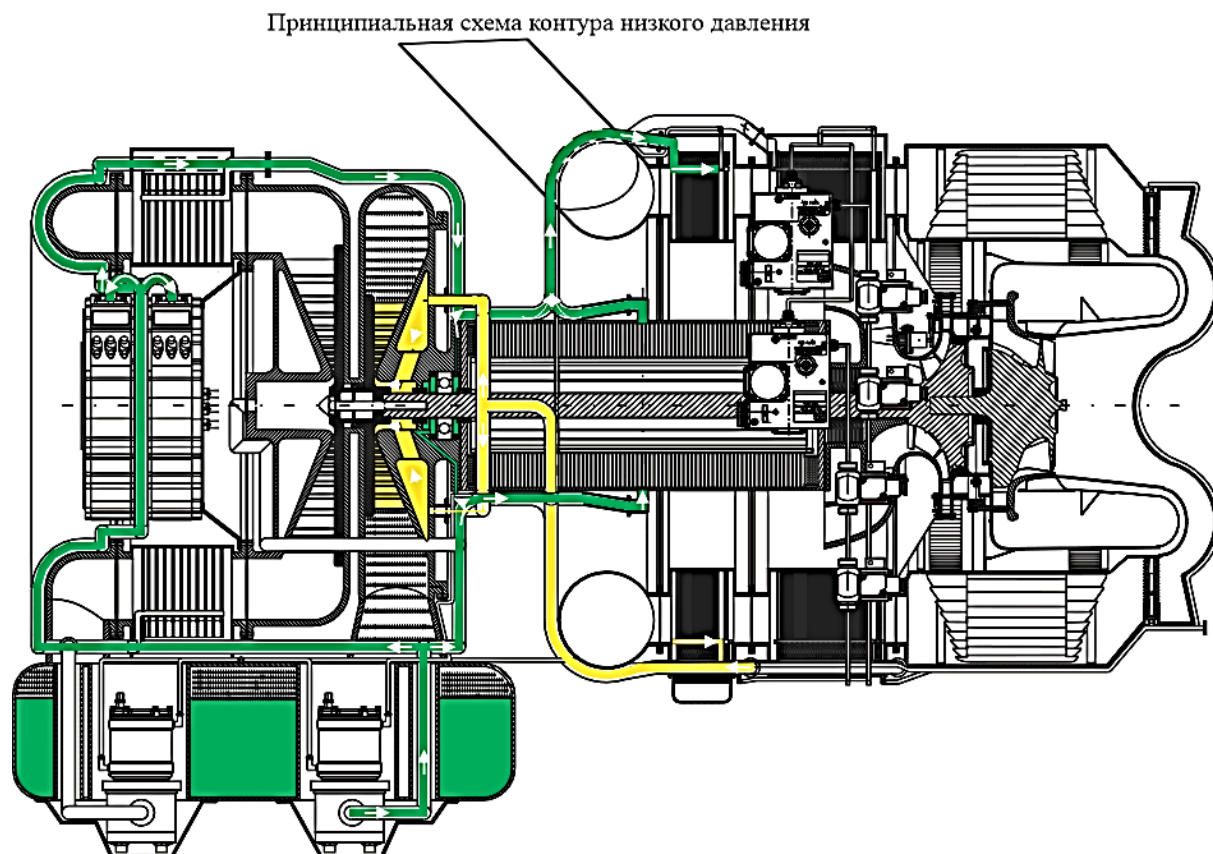
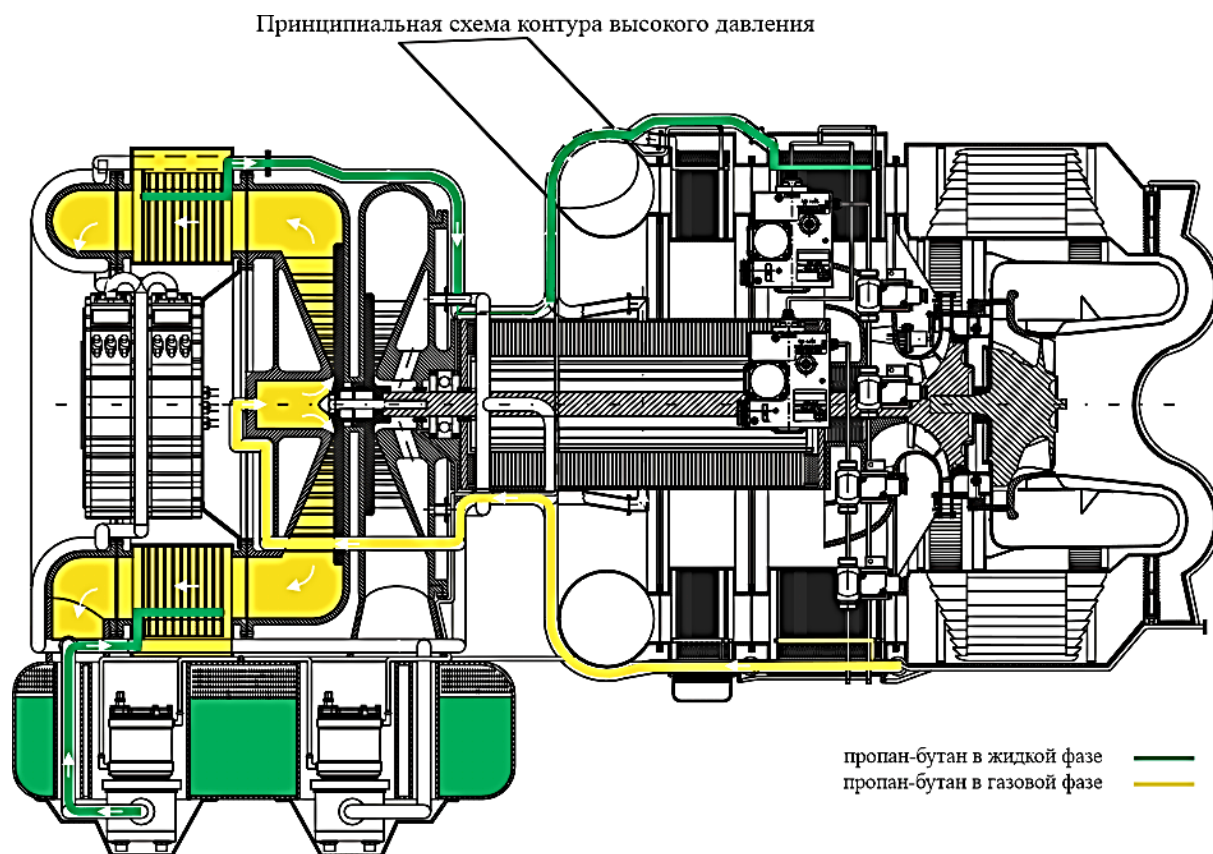
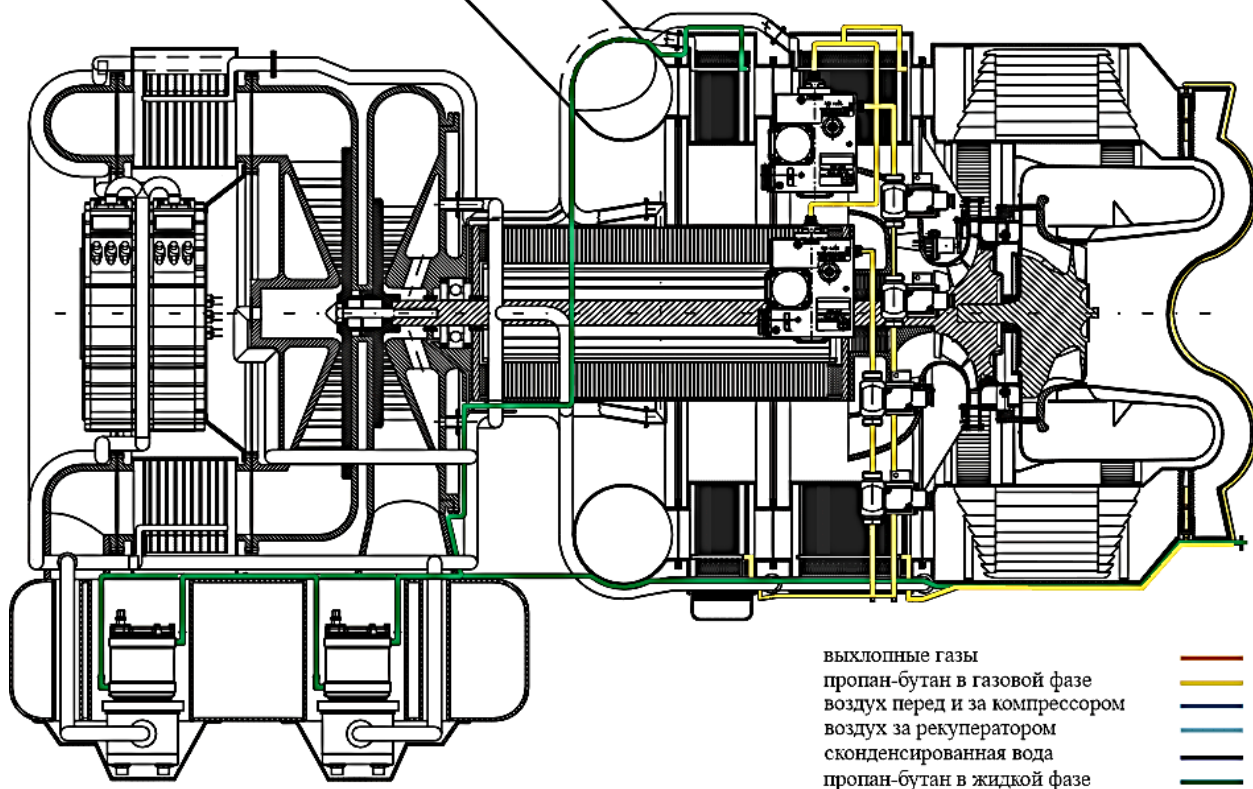


Рисунок 29. Принципиальные схемы контура низкого и высокого давления



Принципиальная схема топливной системы



Принципиальная схема газозвудушного тракта

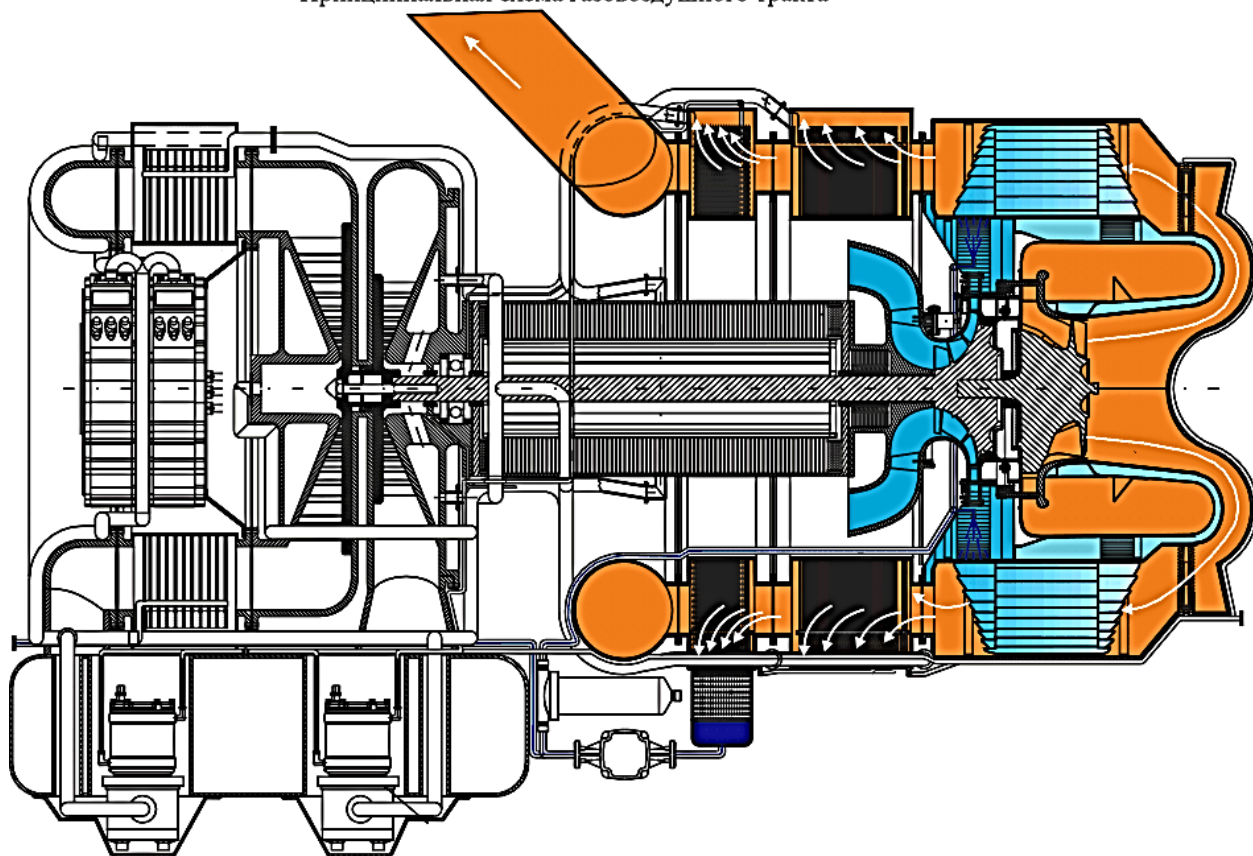
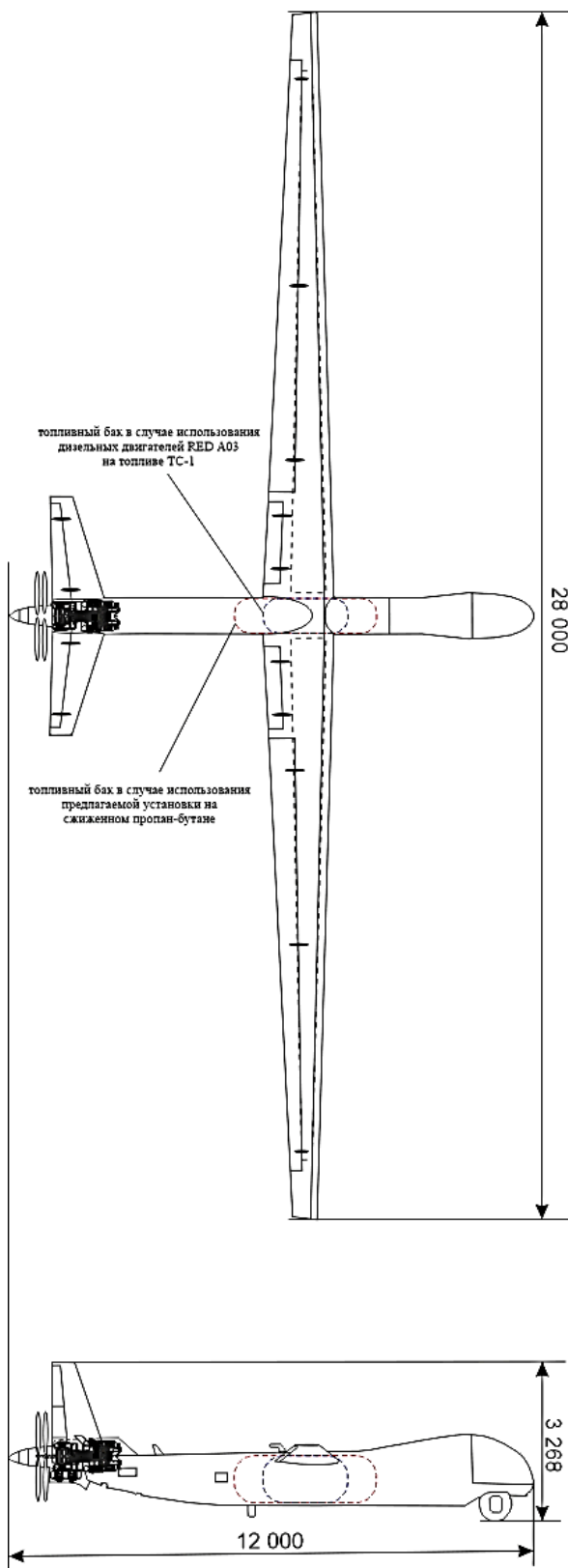


Рисунок 30. Принципиальные схемы топливной системы и газозвудушного тракта



**6. Сравнение характеристик БПЛА Альтиус с дизельными двигателями и предлагаемой силовой установкой**

Габаритные размеры БПЛА Альтиус и размещение на борту предлагаемой силовой установки



Общий вид БПЛА Альтиус с дизельными двигателями RED A03



Сравнение характеристик БПЛА Альтиус с двигателями RED A03 и предлагаемой силовой установкой

№ п/п	Наименование параметра	Единица измерения	БПЛА Альтиус с двигателями RED A03	БПЛА Альтиус с предлагаемой силовой установкой	Относительная разница в %
1	Удельный расход топлива	кг/кВт ч	0,211	0,1127	87
2	Мощность на высоте 12 000 м	кВт	150	150	-
3	Максимальная мощность	кВт	150	около 300	100
3	Крейсерская скорость	км/ч	250	250	-
4	Часовой расход топлива	кг	31,65	16,9	87
5	Удельный расход топлива	г/кг км	0,0744	0,0397	87
6	Используемое топливо	-	ТС-1	сжиженный пропан-бутан	-
7	Отпускная цена топлива	р/кг	75	24,6	205
8	Максимальная взлетная масса	кг	5 000	5 000	-
9	Грузоподъемность	кг	1 700	1 700	-
10	Масса топлива с 5% запасом	кг	1 365	1 790	31,1
11	Масса планера	кг	975	975	-
12	Масса силовой установки с винтами, заправленной рабочими жидкостями	кг	480 × 2 = 960	535	79,4
13	Масса силовой установки с винтами, заправленной рабочими жидкостями и топливом	кг	2 325	2 325	-
14	Потолок	м	12 000	12 000	-
15	Продолжительность полета при полной загрузке	час	41	101	146
16	Дальность полета	км	10 324	25 250	145
17	Себестоимость одного часа полета	р/ч	2 373,5	415,74	471
18	Длина фюзеляжа	м	4,27	4,27	-
19	Высота по килем	м	12	12	-
20	Размах крыла	м	28	28	-

Предварительная оценка массо-габаритных характеристик предлагаемой установки в одновальковой компоновке для применения на БПЛА Альтиус

№ п/п	Наименование параметра	Единица измерения	Значение
1	Длина	мм	1580
2	Высота	мм	980
3	Ширина	мм	680
4	Используемые жидкости	-	Сжиженный пропан-бутан + сконденсированная вода
5	Масса газотурбинного двигателя	кг	35
6	Масса рекуператора газотурбинного двигателя	кг	45
7	Масса рекуператора ORC турбины	кг	15
8	Масса ORC турбины	кг	25
9	Масса турбодетандера	кг	15
10	Масса теплообменника перегревателя низкого давления	кг	30
11	Масса теплообменника перегревателя высокого давления	кг	40
12	Масса электродвигателей, соосных винтов и силовой электроники	кг	125
13	Масса генератора	кг	70
14	Масса АКБ	кг	25
15	Масса соединительных кабелей	кг	10
16	Масса ресивера-конденсатора с циркуляционными насосами	кг	20
17	Масса картриджа для обессоливания воды с насосом	кг	20
18	Масса пропан-бутана, заправляемого в ресивер-конденсатор	кг	60
19	Масса установки с учетом пропан-бутана, заправляемого в ресивер-конденсатор	кг	535

**Рисунок 31. Сравнение характеристик БПЛА Альтиус с дизельными двигателями RED A03 и предлагаемой силовой установкой**

**Список литературы:**

1. Акользин А.П., Жуков А.П., Кислородная коррозия оборудования химических производств.-М.:Химия, 1985.
2. Алемасов В.Е., Дрегалин А.Ф., Тишин А.П.; под ред. В.П. Глушко Теория ракетных двигателей: Учебник для студентов высших учебных заведений.-М: Машиностроение, 1989.-464с.: ил. ISBN 5-217-00358-8.
3. Ashkan SENATA , Fathollah OMMIB, Zoheir SABOONIC a PhD student, Kish International Campus University of Tehran, Kish Island, Iran b\* Professor, Tarbiat Modares University (TMU), EFFECTS OF STEAM ADDITION AND/OR INJECTION ON THE COMBUSTION CHARACTERISTICS: A REVIEW.
4. Белоусов В.Н., Смородин С.Н., Смирнов О.С Топливо и теория горения. Часть II, Учебное пособие, Санкт-Петербургский государственный технологический институт растительных полимеров, Санкт-Петербург 2011.
5. Babatunde, A. Fakeye and I Sunday, O. Oyedepo, A Review of Working Fluids for Organic Rankine Cycle (ORC) Applications, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 413 (2018).
6. B. Vanslambroucka, I. Vankeirsbilcka , M. van den Broeka , S. Guseva, M. Efficiency Comparison between the Steam Cycle and the Organic Rankine Cycle for Small Scale Power Generation De Paepb aDepartment of Electromechanics, Howest, Graaf Karel de Goedelaan 5, 8500 Kortrijk, Belgium bDepartment of Flow, Heat, and Combustion Mechanics, Ghent University, Sint-Pietersnieuwstraat 41, 9000 Gent, Belgium.
7. <https://www.guinnessworldrecords.com/world-records/431420-most-efficient-combined-cycle-power-plant>.
8. <https://power.mhi.com/news/20200402.html>.
9. <https://power.mhi.com/products/gtcc>.
10. John Patrick Herrmann. THE ABSORPTION OF NITROGEN DIOXIDE BY CONDENSING WATER DROPLETS. In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree Master of Science in Chemical Engineering.
11. Jirí Horák , Lenka Kubo nová , Milan Dej, Jirí Ryšavý, Stanislav Bajer, Zden ek Kysučan, Pavel Ulrich , Pavel Mareček , Filip Tesař , Martin Garba, František Hopan and Petr Praus, Long-Term Neutralization of Acidic Condensate from Gas Condensing Boilers, Sustainability 2022, 14, 15015. <https://doi.org/10.3390/su142215015>.
12. Кудинов А.А. УДК 662.613 Энергосбережение в теплогенерирующих установках. - Ульяновск: УлГТУ, 2000.-139.
13. Ножницкий Ю.А., Петров Н.И., Лаврентьев Ю.Л., УДК 621.452:621.822.6, Гибридные подшипники качения для авиационных двигателей (обзор), Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, г. Москва, Авиационные двигатели 12 (3) 2019.
14. Requirements for Water and Steam Purity for Injection in Aero Derivative Gas Turbines, GE Energy, MID-TD-0000-3 June 2004.
15. Чунарев Т.Ф. УДК 621.438.038.2, БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА, Влияние на экологические и энергетические характеристики ГТУ впрыска экологического и энергетического пара в камеру сгорания, «НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ».

**БЕЗОПАСНОСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕКА****ИННОВАЦИИ В ОБОРУДОВАНИИ УСТАНОВОК  
ОЧИСТКИ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОКОВ ПОСЕЛКОВЫХ ОБРАЗОВАНИЙ***Сидоров Евгений Павлович**заместитель директора  
по научно-технической работе НПО «Агростройсервис»,  
РФ, Дзержинск  
E-mail: [interspektiva@vandex.ru](mailto:interspektiva@vandex.ru)***INNOVATIONS IN THE PLANT EQUIPMENT OF DOMESTIC WASTEWATER  
OF SETTLEMENT FORMATIONS***Evgeniy Sidorov**Deputy Director of Scientific  
and Technical Work, SPA "Agrostroiservice",  
Russia, Dzerzhinsk***АННОТАЦИЯ**

В статье представлены результаты изучения Учеными Росстата России состояния систем устройства канализации хозяйственно-бытовых стоков, на территории различных по категориям и количеству населения, муниципалитетов в Российской Федерации. Отмечается, что небольшие поселковые образования недостаточно, для нормальной жизнедеятельности, обеспечены канализационными системами. Автором статьи предлагается несколько современных научно-технических концепций технологического и конструкторского обеспечения систем канализации небольших поселковых образований и отдельно стоящих зданий. В конструкциях этих сооружений предлагается применять технологии и оборудование, которое обеспечивает экономию в потребляемой электрической энергии и материальных средств. Например: инжекционные системы фирмы "Korting" и "Mazzei", а также строительство, совместно с очистными сооружениями малой мощности, мини ГЭС конструкции Франца Цотлотера, которые успешно работают на малых водоемах и полноводных ручьях, с целью обеспечения сооружений электрической энергией. Представляется, для возможных инвесторов, инновационный проект очистных сооружений с установкой очистки стоков методом винтового спирального имплозионного вращения потока воды.

**ABSTRACT**

The article presents results of a study by Scientists of Rosstat of Russia of the state of sewerage systems of household sewage, on the territory of municipalities in the Russian Federation that differ in categories and number of population. It is noted that small village formations are not enough for normal life, provided with sewage systems. The author of the article offers several modern scientific and technical concepts of technological and design support of sewerage systems of small settlements and detached buildings. In the constructions of these structures, it is proposed to use technologies and equipment that provides savings in the consumed electrical energy and material resources. For example: injection systems of the company "Korting" and "Mazzei", as well as the construction, together with low-power treatment plants, mini hydroelectric power plants designed by Franz Tsotloterer, which successfully operate on small reservoirs and deep streams, in order to provide electric power to the structures. It seems, for possible investors, an innovative project of sewage treatment plants with a sewage treatment plant using the method of helical spiral implosion rotation of the water flow.

**Ключевые слова:** анализ Росстата, показатели обеспечения канализацией, поселковые образования, эжекторы Korting, эжекторы Mazzei, воздушные усилители Exair, озонаторы, имплозия потока воды.

**Keywords:** Rosstat analysis; sewer supply indicators; settlement formations; Korting ejectors; Mazzei ejectors; Exair air amplifiers; ozonators; water flow implosion.

**Как театр начинается с вешалки, так и благосостояние человеческой жизнедеятельности начинается с очистки стоков**

Основной угрозой для жизнедеятельности граждан Российской Федерации в мирное время является нарушение первородного экологического состояния

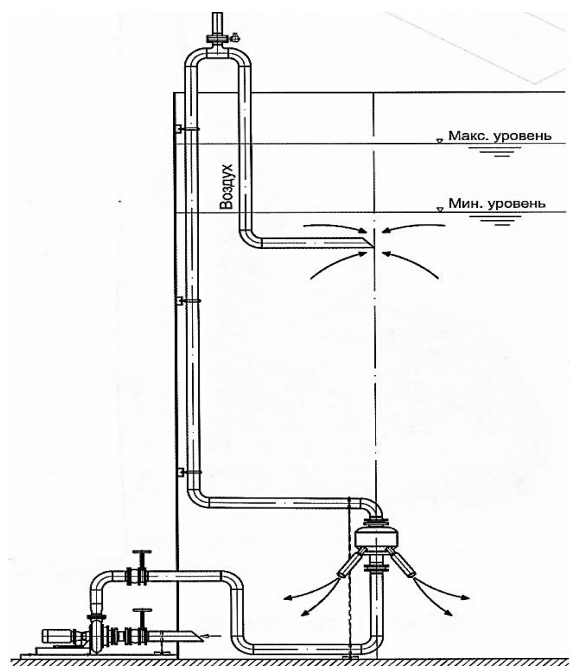
окружающей среды. В том числе безопасное состояние качества Государственных запасов объемов пресной воды. По обеспеченности водными ресурсами Россия занимает первое место в мире. Однако, всего лишь 12% водных ресурсов относится к запасам чистой воды. Так как 58% относится к умеренно загрязненным, 26% к грязным и 4% к очень грязным. Запасы пресной воды составляют 97 тыс. км<sup>3</sup>, однако, можно использовать примерно только 11,6 км<sup>3</sup>. Основные запасы пресной воды находятся в озерах и ледниках. А ресурсы рек, из которых мы забираем пресную воду, составляют 0,5 % или 0,58 тыс. км<sup>3</sup>. Общее потребление пресной воды в России составляет 81,0 км<sup>3</sup> в год, из них ЖКХ потребляет 15,6 км<sup>3</sup> в год, в том числе, безвозвратное потребление составляет 3,5 км<sup>3</sup> в год. По официальным источникам в России сбрасывается в реки полностью очищенных хозяйственно-бытовых сточных вод всего 2,5 км<sup>3</sup> в год, остальное количество сбрасывается загрязненными. Ученые заявляют, что каждый литр неочищенной сточной воды загрязняет 8 литров чистой воды в водоемах. Поэтому ЖКХ ежегодно загрязняет, как минимум, более 100 км<sup>3</sup> питьевой воды в год. То есть значительно больше, чем составляет общее потребление. В водных водоемах, исходя из природного программирования равновесного состояния устойчивой жизнедеятельности, происходит естественный процесс самоочистки воды. Однако с ростом населения и отсутствия очистки использованной воды, может наступить момент не возобновляемых процессов естественной очистки водоемов, что повлечет собой лавинное, взрывное их отравление. Согласно данным анализа, проведенного Росстатом России, в 2018 году, около 22,6% населения России не имеет доступа к централизованной канализации. Большинство таких семей пользуются выгребными ямами.

В сельских и поселковых образованиях проживает около 40% населения России. Централизованная канализация отсутствует у 66,5% россиян, проживающих в этих жилых образованиях. В том числе, 48,1% семей проживающих в сельской местности пользуются выгребными ямами, а 18,4% не имеют канализации вообще. Среди многодетных семей, с тремя и более детей 40,9% не подключены к канализации, 29,7% пользуются выгребными ямами, а 11,2 % вообще не имеют канализации.

На основании проведенного Росстатом России анализа состояния очистки хозяйственно-бытовых стоков жилых поселковых образований следует, что в настоящее время необходимо обратить особое внимание на проектирование и строительство со-

оружений очистки стоков средней производительности, объемом от 200 до 1000 м<sup>3</sup>/сутки. Однако, условия территориального размещения поселковых образований отличаются, в большинстве случаев, недостаточным энергетическим обеспечением и ограниченными возможностями сброса очищенных сточных вод в близлежащие водоемы, которые, в основном, представляют из себя небольшие речки и ручьи. Также необходимо принимать во внимание высокую биологическую загрязненность сточных вод, обусловленную не высокой степенью благоустройства водных сливных устройств и гигиенического оборудования жилых объектов.

С целью решения этой проблемы представляется интересным опыт Германской фирмы «Korting Hannover AG» по применения в качестве оборудования предварительной очистки стоков проточных цилиндрических емкостей длиной до 12,0 метров и диаметром 2,0 метров, с высотой заполнения потоком сточной воды, равной 1,6 метров. В качестве оборудования аэрации сточных вод применяются эжекторы, разработанные и изготовленные фирмой «Korting». С точки зрения затрат энергии, наиболее эффективным является предварительное сжатие воздуха до гидростатического давления и подачи его на сторону всасывания эжектора. А в дальнейшем смешивание жидкости со сжатым воздухом в эжекторе. В этом случае, требует меньшего давления рабочей жидкости. В то же время, увеличивается количество воздуха в жидкости на выходе эжектора. Рабочие сопла эжекторов Korting оснащены спиральными насадками для предотвращения засорения. Таким образом, струя рабочей жидкости рассеивает воздух при низком давлении на бесчисленное множество мелких пузырей, которые перемешиваются с рабочим потоком в зоне смешения. Эта воздушно-водная смесь нагнетается в реактор аэрации в режиме высокой турбулентности. При этом происходит насыщение воды избыточным кислородом. Перенос кислорода зависит не только от размера пузырьков, но и от обновления поверхности пузырьков благодаря турбулентному течению воды. При таких условиях, эжектор гарантирует оптимальный перенос кислорода и перемешивание всего объема реактора аэрации. Даже при значительном содержании биомассы в сточных водах возможно поддержание достаточной скорости потока для предотвращения появления осадков на дне реактора. Специалистами фирмы Korting проведены комплексные испытания насыщения кислородом в чистой воде (FNV M-209) методом адсорбции кислорода, которые сформировали базу для расчета эжекторов Korting.



**Рисунок 1. Эжектор в реакторах «Korting»**



**Рисунок 2. Эжектор «Korting», общий вид**

Эжекторы «Korting» успешно применяются в циклично-периодических реакторах, в которых наряду с процессами аэрации, осуществляются биологические процессы нитрификации и денитрификации в одном и том же реакторе, что требует полного перемешивания содержимого реактора как с

подачей воздуха, так и без него. Это достигается простым отключением воздушного клапана на время анаэробной обработки стоков. Особое достоинство этой схемы в том, что для всех процессов используются одни и те же насосы, что влияет на общую стоимость установки, в части ее снижения.



**Рисунок 3. Общий вид лежащего реактора, собранного из 3 емкостей (обрабатываемая зона в реакторе, при диаметре 2 метра – 36 x 1,6 м (высота наполнения) «Korting»**



**Рисунок 4. Система подачи воздуха**

В установках очистки стоков «Korting», которые применяют для аэрации и перемешивания стоков многоходовые эжекторные устройства, в основном,

применяются водоструйные воздушные компрессоры. Их установка осуществляется снаружи в отдельных помещениях, что требует дополнительные строительные площади и капитальные затраты.



**Рисунок 5, 6. Устройство компрессорной станции**

Следует отметить, что преимуществами эжекторов Korting является отсутствие планового технического обслуживания, так как в их конструкции нет движущихся частей. А также, высокая степень насыщения кислородом, так как мелкие пузырьки образуют большую поверхность контакта воздуха с водой, а высокая турбулентность обновляет эти поверхности; нет осадков, так как интенсивный поток, направленный на дно реактора, предотвращает осаждение биомассы; осуществляется прямой контакт подачи кислорода. Конструкция предотвращает засорение, так как диаметр рабочего сопла определяет самое узкое место в поперечном сечении; отсутствует проблема перелива воды, так как в случае, если система не активна, вода может подняться в воздушные трубы без негативных последствий. При запуске эжектор выкачивает всю жидкость из труб.

Однако, применение водоструйных воздушных компрессоров – насосов снижают экономическую эффективность работы установки.

Поскольку аэрация сточных вод – процесс энергозатратный и потребляет 50-90% энергии от общей мощности КОС, то в последнее время, с целью снижения затрат на принудительную подачу воздуха в смесительные камеры эжекторов посредством компрессорного оборудования, практически все производственные и монтажные организации западных стран стали применять погружные аэраторы. Конструкция погружных аэраторов состоит из погружного канализационного насоса, воздушно-жидкостного эжектора и, засасывающей воздух трубы. Устройство работает полностью погруженным в жидкую среду. Для разных этапов процесса очистки стоков (аэрации, перемешивания осадка в аэробных и анаэробных условиях) промышленностью предлагается погружные аэраторы в разных технических



исполнениях, которые могут удовлетворить любые условия обрабатываемых стоков, в части снижения энергетических затрат по сравнению с традиционными системами аэрации. Например, наряду с эжекторами Korting, можно отметить мелкопузырчатые аэраторы FLYMARATOR. Конструкция этого аэратора отличается от других наличием рабочего колеса, которое работает в направлении по часовой стрелке, двигая окружающую жидкость и увеличи-

вая ее скорость. В то же самое время создается вакуум, который заполняется воздухом, захватываемым из атмосферы через трубу, подводящую воздух. Воздух тщательно перемешивается с жидкостью перед тем, как выпускается через каналы диффузора на высокой скорости, создавая массы мелких пузырьков и обеспечивая оптимальное время удержания кислорода при высокой эффективности. Главное, не нужны компрессоры

#### Аэрация всего объема стоков

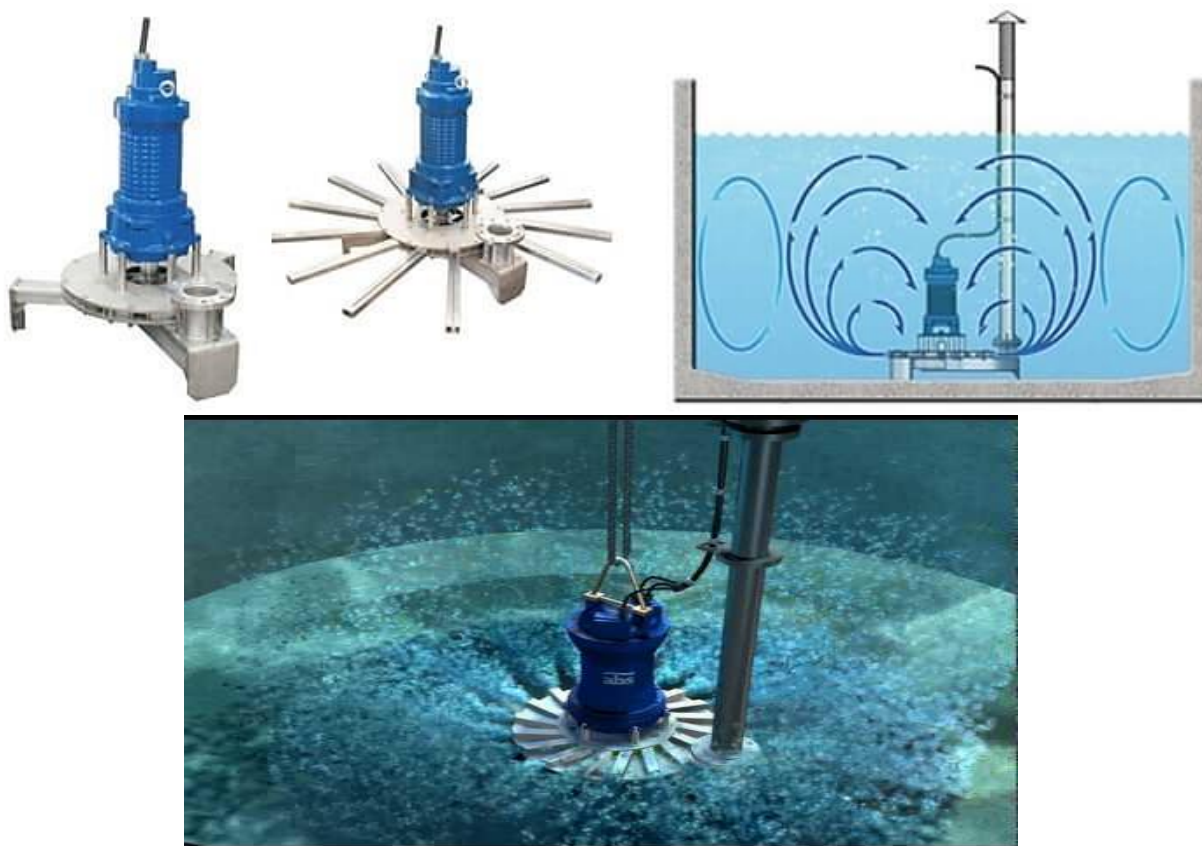
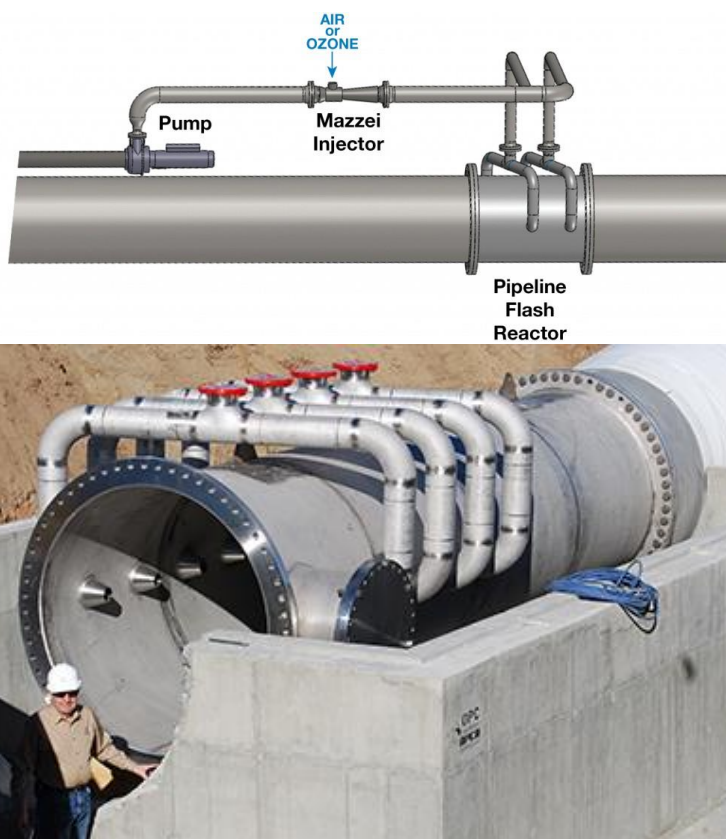


Рисунок 7, 8, 9. Погружные мелкопузырчатые аэраторы FLYMARATOR

#### Аэрация и перемешивание осадка

Заслуживает особого внимания концепция специалистов фирмы MAZZEI (США) методов очистки непостоянных по времени и средних по объемам хозяйственно-фекальных стоков поселковых образований. Аэрация и насыщение стоков начинается уже при их транспортировке в трубопроводах путем инжектирования кислорода воздуха, озона или кислорода, специально разработанными для этой цели,

устройствами. Этот метод позволяет предварительно усреднить показатели сточной воды для приема в основные сооружения очистки стоков и значительно снизить их производственную нагрузку и, соответственно, рабочие энергетические показатели. Одновременно, удаляются неприятные запахи трубопроводных систем. Место врезки системы аэрации определяется опытным путем, по необходимости.



**Рисунок 10, 11. Конструкция системы аэрации потока сточной воды озоном или кислородом воздуха**

Подавляющее большинство воздушно-жидкостных эжекторов работают в результате принудительной подачи в зону образования эжекторной смеси сжатого воздуха компрессорными установками различной мощности. Например, четырех ходовой эжектор Korting требует для стабильного процесса инжекции около  $88 \text{ м}^3/\text{час}$  сжатого воздуха, что соответствует производительности воздуходувки равной  $1,6 \text{ м}^3/\text{мин}$ . При этом уровень подачи кислорода составит  $14 \text{ кг O}_2/\text{час}$ . Однако, имеется возможность значительно снизить энергетические и капитальные затраты на обеспечение эжектора сжатым воздухом путем применения в качестве производителя сжатого воздуха воздушного пневматического усилителя фирмы EXAIR (США). На примере воздушного усилителя серии *Super Air Amplifier* рассмотрим принципиальную схему и работу усилителя **120028** (см. рисунок 12). Сжатый воздух с объемной скоростью потока, *равной 3,396 SLRM*, проходит через входное отверстие (1) в кольцевую камеру (2). Затем его сжимают и пропускают через небольшое кольцевое сопло с высокой скоростью. Первичный поток воздуха прилипает к стенке (эффект Коанда) и отправляется к выходному отверстию. В центре создается область с низким давлением (5), что позволяет затягивать большое количество окружающего воздуха. Комбинированный поток из окружающего и

первичного воздуха выходит из воздушного усилителя, создавая объемный воздушный поток высокой скорости, с объемной скоростью потока, *равной 84 900 SLRM на линии выходного сечения усилителя и 254 700 SLRM на расстоянии 152 мм от этого сечения*. Таким образом, применяя воздушный пневматический усилитель *Super Air Amplifier* мы достигаем паспортную объемную скорость воздушного потока  $1,6 \text{ м}^3/\text{мин}$ , при исходной подаче воздушного потока производительностью в 25 раз меньше, чем производительность воздуходувки, рекомендуемая фирмой Korting для стабильной работы четырех ходового эжектора.

Следует отметить, что усилитель воздушного потока фирмы **EXAIR** выполняет различные функции, главные из них – это вентиляция, продувка и чистка трубопроводных систем. Основными достоинствами конструкции усилителя воздуха является: отсутствие движущихся частей. Что обеспечивает его долговечность, неприхотливость и простота в обслуживании. Снабжайте его чистым и сухим воздухом, и он будет работать почти бесконечно, без необходимости в обслуживании.

Конструкция усилителя воздушного потока защищена патентом США **US 4046492A**, дата приоритета: 1976-01-21



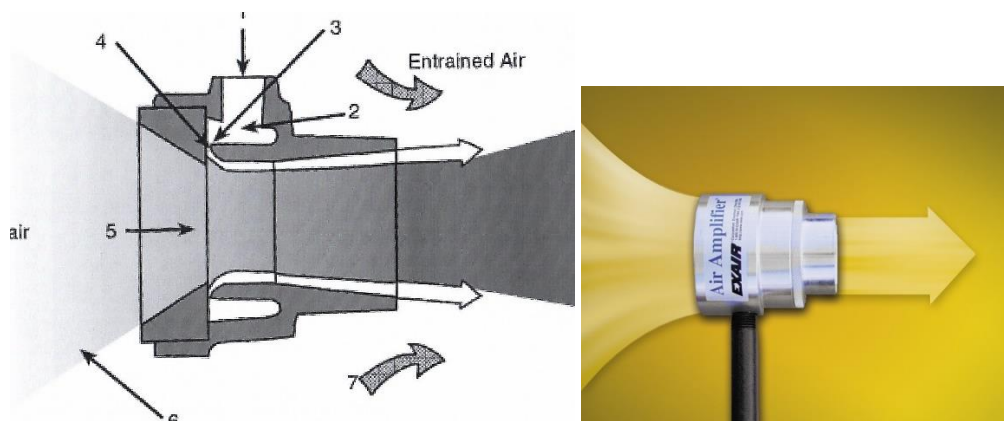


Рисунок 12. Принципиальная схема работы воздушного пневматического усилителя серии Super Air Amplifier

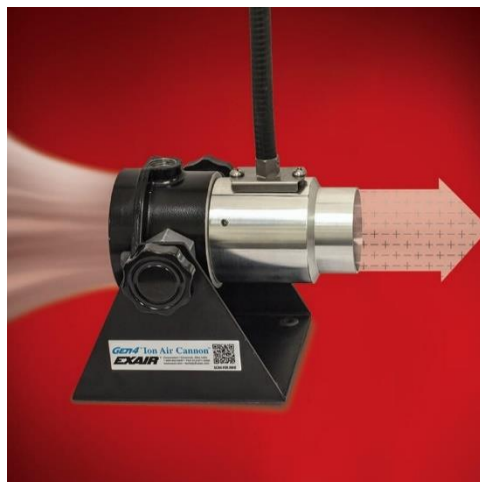
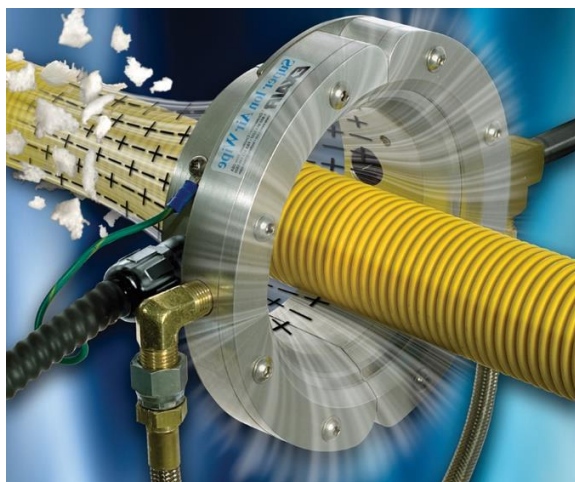
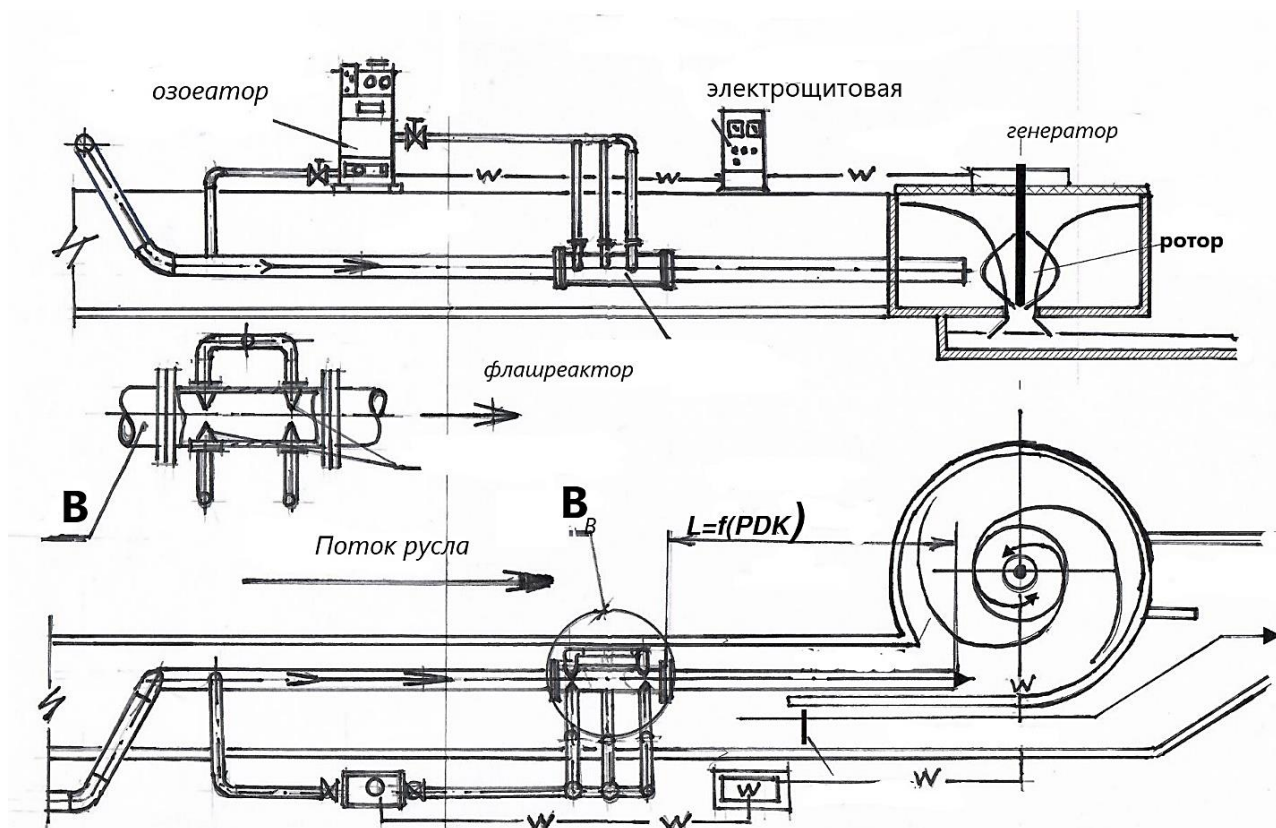


Рисунок 13, 14, 15, 16. Номенклатура воздушных пневматических усилителей, установка и их работа

Для строительства очистных сооружений хозяйственно-бытовых стоков небольших поселковых образований представляет интерес проект доочистки и сброса очищенной сточной воды в немногочисленные речки и ручьи через водовихревую мини гидростанцию конструкции австрийского инженера Франца Цотлотера. Предварительная очистка стоков на установках биологической очистки, использующих

различные методы анаэробной и аэробной обработки воды, требуют дополнительную доочистку от химических соединений, относящихся к предельно-допустимым нормам рыбохозяйственных вод. Для решения этой задачи предлагается на месте сброса очищенной воды в мелкие водоемы, соединение оборудования озонирования и водяной электростанции, которая одновременно обеспечит потребности установки в электроэнергии (см. рисунок 17).



**Рисунок 17. Установка доочистки хозяйственно-бытовых стоков, прошедших предварительную очистку на установках биологической очистки, озонированием до ПДК сброса в водоемы рыбохозяйственного назначения на WASSERWIRBELTECHNIK FRANZ ZOTLOTERER**

Проект объединяет оборудование мини ГЭС F. Zotloterer (см. рисунок 18, 19) и озонатора фирмы Mazzei со смесительной системой – flachreaktor.



**Рисунок 18, 19. Вихревая водяная электростанция, автор проекта и строитель Franz Zotloterer**

Проект этой гравитационно-водооборотной станции обеспечивает возможность получение электроэнергии на небольших каналах и речках, а также даже на полноводных ручьях не перекрывая реку плотиной и этим создавая свободный проход рыбы. Водоворот аэрирует воду, благодаря чему восстанавливает процессы очищения русла. Кроме того, он

способствует терморегуляции водоема летом, а зимой мини ГЭС продолжает работу уже подо льдом. Диаметр бассейна с водооборотом составляет 5,5 метра, который отдает часть потока у берега в специальный канал, - это бетонный цилиндр, к которому по касательной подходит вода, обрушиваясь в глубину в самом центре. Так образуется водоворот,



с помощью которого закручивается турбина. КПД преобразованной энергии в ток от падающей воды достигает 75%. Электрическая мощность установки достигает 9,5 кВт. Рабочий перепад высот воды составляет 1,3 м, а расход – примерно 1 м<sup>3</sup> в секунду. Турбина показала хороший КПД даже при перепаде воды 0,7 – 0,9 м. Гравитационно-оборотная станция выработала на небольшом ручье больше 50-ти мВт / ч электричества.

Применение озонирования предварительно очищенных сточных вод особо целесообразно при совмещенном решении нескольких комплексных задач, а именно, удаление, особо стойких в растворах, хи-

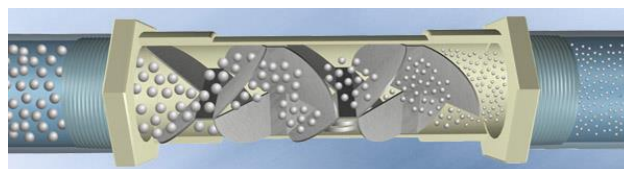
мических соединений, обеззараживания и дезинфекции. Для решения задач доочистки в небольших станциях очистки стоков целесообразно применять озонаторы производящие озono-кислородную смесь с концентрацией от 2,5 до 20,0 % озона. Для таких малых доз озона наиболее целесообразен прямой ввод озона без заикливания потока воды. Поэтому в представленном пректе доочистки стоков применяется прямое введение озонированной массы предварительно обработанной сточной воды непосредственно в флэшреактор, где насыщенная озонном вода специальными эжекционными форсунками фирмы MAZZEI интенсивно перемешивается с потоком.



**Рисунок 20. Генератор озона TT-6/6, 2,5 л/ мин**

Представленная установка доочистки прошедших первую ступень очистки хозяйственно-бытовых стоков с применением озонирования до ПДК сброса в водоемы рабочозышвенного назначения через гравитационно-водооборотную станцию конструкции Франка Цотлетерера имеет ряд экологических, энергетических и экономических преимуществ перед существующими прототипами.

Ведущими в мире предприятиями, которые работали и внедрили научно-технический прогресс в области очистки водных растворов и, в том числе очистку хозяйственно-бытовых стоков, методом интенсификации процессов инжектирования в водный раствор кислорода воздуха или озона и чистого кислорода, являются фирмы “Mazzei”, “Korting Hannover AG” и некоторые фирмы Японии и других государств, применяющих этот метод, как вспомогательный. Однако преобразование соединений осуществляется при внесении кислорода воздуха или озона и чистого кислорода в тело водного раствора, на поверхность молекул, а не инициированием внутренних действия внутренних сил воды. В настоящее время предлагается установка очистки сточных вод силой внутренней энергии воды, извлеченной из энергии-массы воды, безвзрывным способом на



**Рисунок 21. Смесители озона конструкции MAZZEI**

внутримолекулярном и внутриатомном энергетическом уровне, путем импозиионного вкручивания водного потока к его центральной оси через квантово-волновой когерентный узел волновода, при наведении центростремительного и центробежного вращения потока воды. Силы этих вращений, совместно с силами магнитных полевых резонансов, создают резонанс частот колебаний элементарных частиц, составляющих строение молекулы воды, что приводит к разрушению их связей и, соответственно, к дезинтеграции энергии-массы водного раствора на отдельные химические элементы и частицы. Как результат таких процессов, соединения распадаются и живут, в дальнейшем по свой строго индивидуальной программе, а водный раствор очищается от растворенных в нем химических элементов и вновь приобретает свое первородное качество. Все процессы происходят в промежуток времени равному 10-10 секунды.

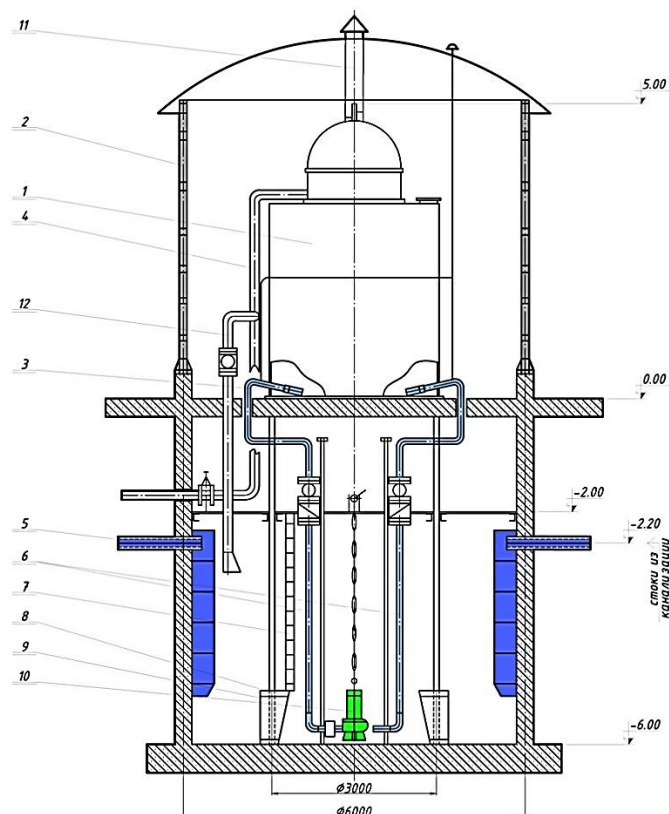
**Сооружение очистки хозяйственно-бытовых стоков** методом винтового спирального импозиионного вращения потока воды состоит из подземной и надземной части. Подземная часть представляет собой монолитную бетонную емкость диаметром 6 метров и высотой 6 метров, в которой находится

усреднитель, поступающих из магистральной канализации стоков и канализационную насосную станцию (КНС), оборудованную тремя погружными насосами.

Сооружение рассчитано на очистку стоков обособленного жилого комплекса зданий с численностью жителей равной 10 000 человек. По экологическим расчетам автора, оно может быть привязано в генплане, в середине зеленой зоны жилого квартала, в окружении небольшого водоема, в который

будет производиться сброс очищенной, обеззараженной и дезинфицированной воды. Излишки поступающей в водоем воды, сбрасываются в наружный коллектор.

Над подземной частью располагается сборно-разборное здание из металлических конструкций, имеющее в плане круглую форму и покрытие из сферической кровли. В здании монтируется установка очистки хозяйственно-бытовых стоков методом винтового спирального импlosionного вращения потока воды (УОС).



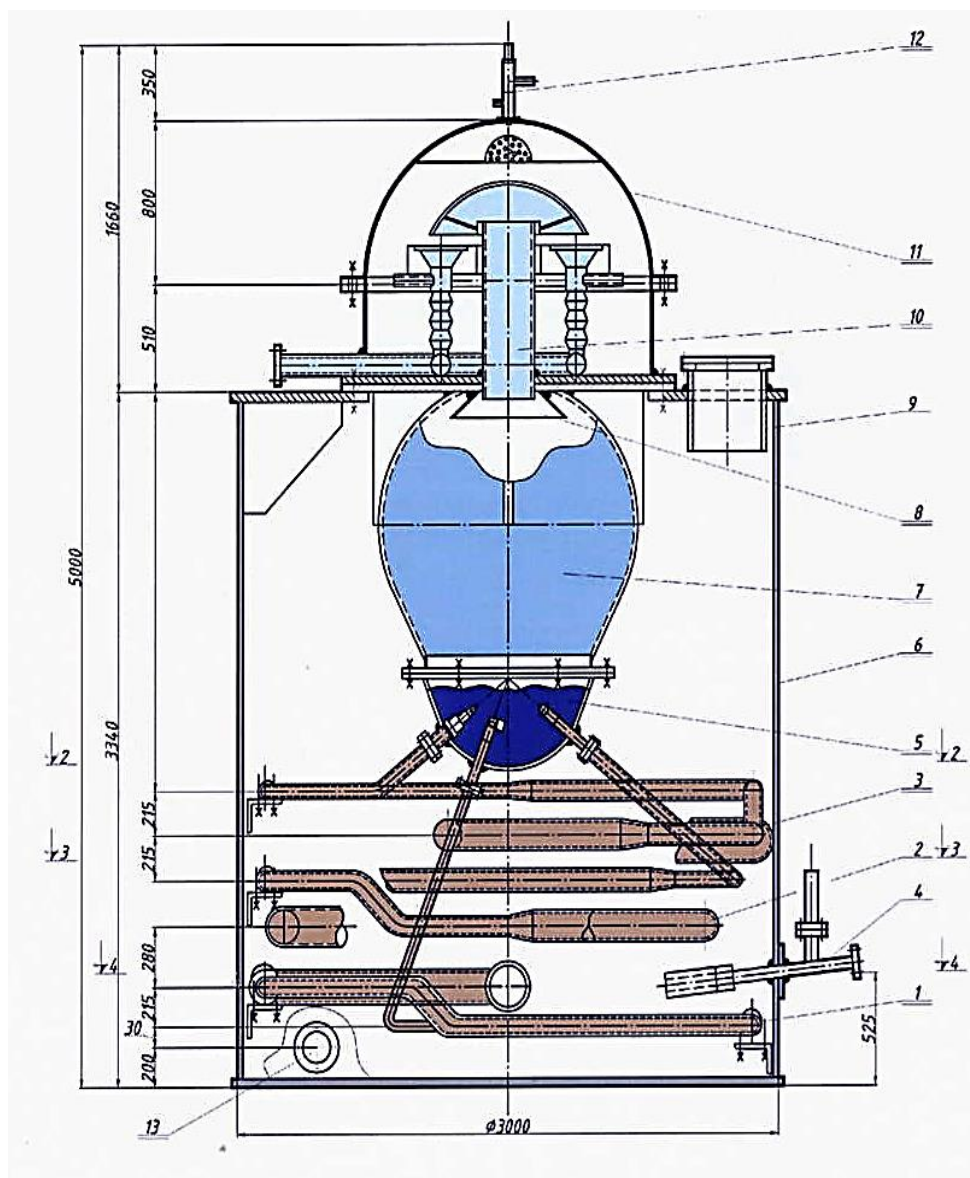
**Рисунок 22. Сооружение очистки хозяйственно-бытовых стоков:**

1. УОС. 2. Конструкция здания. 3. Эжектор подачи стоков конструкции Korting. 4. Трубопровод очищенной воды. 5. Трубопровод подачи стоков из системы канализации. 6. Трубопровод подачи стоков из КНС. 7. КНС. 8. Среднитель. 9. Устройство подачи стоков КНС. 10. Насос погружной. 11. Дефлектор сброса газов. 12. Сброс в усреднитель

УОС состоит из металлического резервуара диаметром 3 метра и высотой 3 метра, с люком диаметром 500 мм для обслуживания оборудования, которое находится внутри резервуара, а также сливного патрубка. Внутри резервуара смонтированы реакционные трубопроводы, в которых находятся электродвигатели с устройствами завихрения потока воды. А также преобразователь потока воды с камерами впуска и выпуска. Над камерой выпуска потока воды установлена камера стабилизации сброса очищенной воды, которая снабжена уровнем понтонного типа и импульсно-предохранительный клапан.

Клапан предназначен для нормализации давления воздуха и отвода, образующихся при реакциях, газов.

Усредненные канализационные стоки поступают из КНС в реакционный резервуар УОС посредством эжекторов фирмы Korting, которые предназначены для монтажа через стенку. В момент подготовки УОС к пуску сточная вода поступает в реакционные трубопроводы по закону сообщающихся сосудов до уровня из полного заполнения. После заполнения срабатывают датчики уровня, расположенные на внутренней части стенок резервуара и подача воды прекращается.



**Рисунок 23. Установка очистки стоков вихревой струйной имплозией:**

1,2,3. Реакционные трубопроводы. 4. Эжектор подачи стоков. 5. Стабилизатор потока, прошедших очистку в реакционных трубопроводах, путем дезинтеграции примесей сточной воды. 6. Накопительный и расходный резервуар стоков поступающих из КНС. 7. Камера преобразования турбулентности потока. 8. Приемная воронка вытеснения потока из стабилизатора. 9. Смотровой люк. 10. Патрубок подачи очищенных стоков в камеру сброса чистой воды. 11. Камера сброса чистой воды. 12. Импульсно-предохранительный клапан. 13. Штуцер для опорожнения резервуара

Одновременно, включаются электродвигатели, которые посредством завихрителей приводят воду в имплозионное вращение и осевое линейное перемещение. Одновременно с включением электродвигателей включаются насосы КНС. Начинается процесс настройки установки на рабочий режим. В это время потоки очищенной воды из камеры сброса, через байпасный трубопровод, поступают обратно в усреднитель. Автоматическая компьютерная система

определения показателей качества очистки поддерживает этот процесс до запланированного уровня качества очищенной воды. При достижении требуемых показателей сброс чистой воды переводится в рабочий режим, в бассейн чистой воды. Технология очистки, за счет полной дезинтеграции биологических элементов, позволяет не только обеззараживать но и дезинфицировать очищенные стоки.

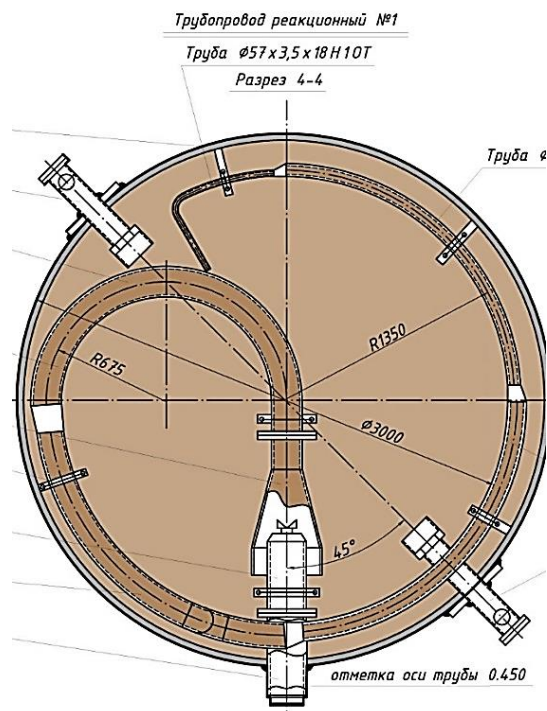


Рисунок 24. Реакционный трубопровод с соплом Лавеля

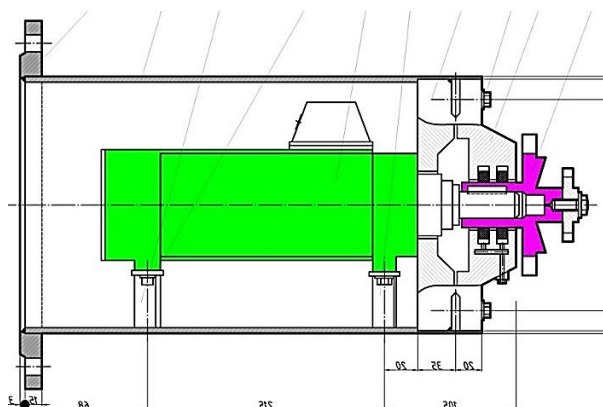


Рисунок 25. Патрубок с встроенным устройством завихрения потока

Каждый способ очистки сточных вод имеет свои собственные аспекты повышения эффективности и снижения энергетических и экономических затрат. Их сочетание не только целесообразно, но и экологически оправдано, поскольку зачастую очистку требуется проводить на локальных участках строи-

тельства очистных сооружений. Применение локальных комплексов дешевле, чем использование монолитных железобетонных конструкций. Такие установки предполагают минимальные затраты электроэнергии на функционирование, а также оперативность монтажа и простоту обслуживания.

#### Список литературы:

1. Е.П. Сидоров «Физические возможности и особенности конструкции установки очистки сточной воды методом струйной имплозии». UNIVERSUM: Технические науки 2023 год.
2. Триотехника. Системы очистки и обеззараживания воды озоном. Очистка сточных вод. [www.Waterline.ru](http://www.Waterline.ru).
3. Mazzei. Wastewater. Ozone for Disinfection. Retrofit Filtration. Activated Sludge. Aeration. [www.Mazzei.net](http://www.Mazzei.net)
4. Korting Yfnnover GmbH. EJECTOR kompakt Korting/ [www.Korting.de](http://www.Korting.de)
5. Manufaktur intelligent Compressed. Seide Presentations. [www.EXAIR.com](http://www.EXAIR.com)

**ИНФОРМАТИКА, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И УПРАВЛЕНИЕ**

DOI: 10.32743/UniTech.2023.114.9.15965

**ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЧИСЛОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПОМОЩИ СЛОВ  
НА УЗБЕКСКОМ ЯЗЫКЕ В PYTHON***Адизова Зухро Маруф кызы**преподаватель,  
Бухарский государственный университет,  
Республика Узбекистан, г. Бухара  
E-mail: [evrikiy@list.ru](mailto:evrikiy@list.ru)***REPRESENTATION OF NUMERICAL INFORMATION USING WORDS  
IN THE UZBEK LANGUAGE IN PYTHON***Adizova Zuhra**Lecturer,  
Bukhara State University,  
Republic of Uzbekistan, Bukhara***АННОТАЦИЯ**

В этой статье описывается технология создания программ для представления чисел словами на языке программирования Python на узбекском языке. Язык программирования Python в настоящее время имеет высокий рейтинг и является оптимальным языком программирования высокого уровня. Этот язык программирования очень эффективен, прост в использовании при создании программ. Сегодня очень важно программировать на современном языке программирования Python. В статье рассматриваются способы описания чисел словами, которых не существует на узбекском языке.

**ABSTRACT**

This article describes the technology of creating programs for representing numbers with words in the Python programming language in Uzbek. The Python programming language currently has a high rating and is the optimal high-level programming language. This programming language is very effective, easy to use when creating programs. Today it is very important to program in the modern Python programming language. The article discusses ways to describe numbers with words that do not exist in the Uzbek language.

**Ключевые слова:** Python, язык программирования, графика, технология, информация, компьютер, программное обеспечение.

**Keywords:** Python, programming language, graphics, technology, information, computer, software.

В этой статье мы рассмотрим создание программы, которая преобразует введенные числа в слова. Эта программа создана на языке программирования Python. Чтобы отобразить введенное число словами, в Python имеется готовая библиотека пакетов, имя пакета – `inflect`

Этот пакет очень удобен и позволяет преобразовывать числа в слова на английском языке.

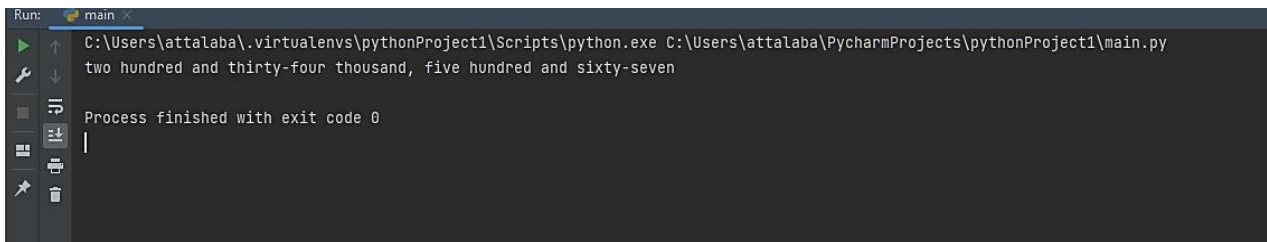
Например:

```
import inflect
p = inflect.engine()
print(p.number_to_words(234567))
```

*Примечание.* Перед запуском этой программы необходимо загрузить пакет из терминала с помощью команды `pip install inflect`.

Результат: one million, two hundred and thirty-four thousand, five hundred and sixty-seven





**Рисунок 1. Результат работы программы преобразования цифр в их названия на английском языке с помощью inflect**

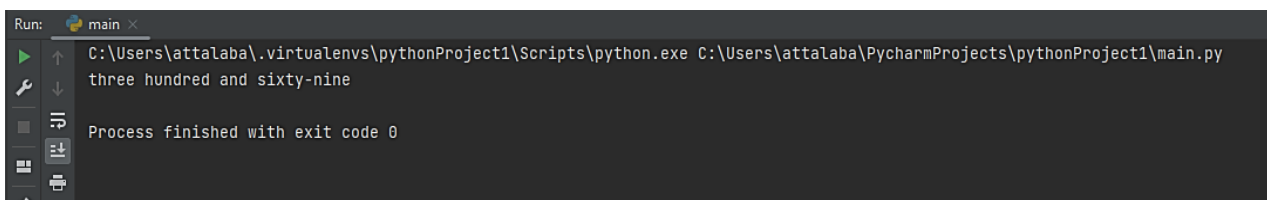
Этот пакет выводит слова на английском языке, а также используется для других языков. Для этого существует специальная возможность – еще один пакет. Имя пакета: num2words. Этот пакет не только преобразует числа в слова, но и переводит их на другие языки, которые существуют в списке библиотеки Python.

Например:  

```
from num2words import num2words
print(num2words(369))
```

**Примечание.** Перед запуском этой программы необходимо загрузить пакет из терминала с помощью команды pip install num2words.

Результат: three hundred and sixty-nine



**Рисунок 2. Результат работы программы преобразования цифр в их названия на английском языке с помощью num2words**

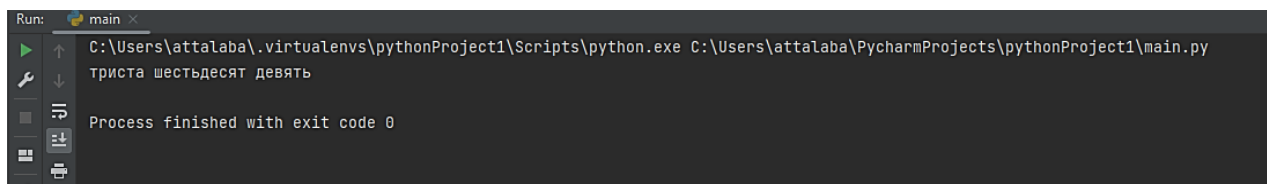
Введённое число будет выведено на английском языке, если мы не добавим в пакет метод Lang. С помощью метода Lang можно будет применять любой язык, который предусмотрен библиотекой Python. В списке этой библиотеки нет узбекского языка.

Например:

```
from num2words import num2words
print(num2words(369, lang='ru'))
```

**Примечание.** Мы можем отобразить код нужного языка из списка библиотеки Python в метод Lang.

Результат: триста шестьдесят девять



**Рисунок 3. Результат работы программы преобразования цифр в их названия на русском языке с помощью lang='ru'**

Ниже рассмотрим программный код для преобразования чисел в слова на узбекском языке. Данный код был добавлен в библиотеку Python и позволяет вызывать узбекский язык из списка библиотеки в методе Lang.

Пример:

```
import numpy as np
bir=np.array(["bir ", "ikki ", "uch ", "to'rt ", "besh ", "olti ", "yetti ", "sakkiz ", "to'qqiz "])
un=np.array(["o'n ", "yigirma ", "o'ttiz ", "qirq ", "ellik ", "oltmish ", "etmish ", "sakson ", "to'qson "])
yuz="yuz "
ming="ming "
million="million "
milyat="milyard "
suz=" "
```

```
n=int(input("Sonni kiriting="))
while n>9:
    if (n>99999999 and n<=999999999):
        m=n//100000000
        suz = suz + bir[m - 1]+yuz
        n = n - m * 100000000
    elif (n>9999999 and n<=99999999):
        m=n//10000000
        suz = suz + un[m - 1]
        n = n - m * 10000000
    elif (n>999999 and n<=9999999):
        m=n//1000000
        suz = suz + bir[m - 1]+million
        n = n - m * 1000000
    elif (n>99999 and n<=999999):
        m=n//100000
```



```

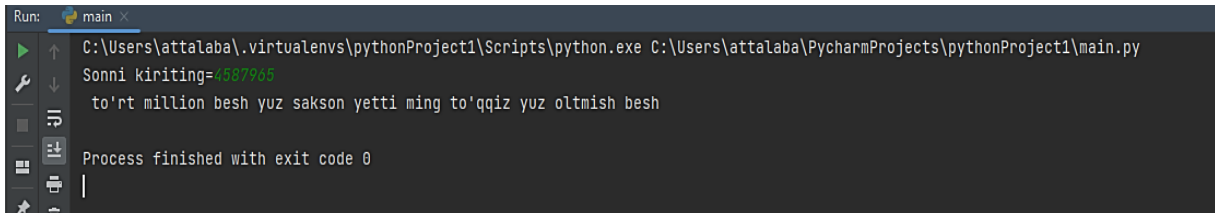
suz = suz + bir[m - 1]+yuz
n = n - m * 100000
elif (n>9999 and n<=99999):
    m=n//10000
    suz = suz + un[m - 1]
    n = n - m * 10000
elif (n>999 and n<=9999):
    m=n//1000
    suz = suz + bir[m - 1]+ming
    n = n - m * 1000
elif (n>99 and n<=999):
    m=n//100

```

```

suz = suz + bir[m - 1]+yuz
n = n - m * 100
elif (n>9 and n<=99):
    m=n//10
    suz = suz + un[m-1]
    n = n - m * 10
if n!=0:
    suz=suz+bir[n-1]
print(suz)
Примечание. Эта программа выдает результат
только на узбекском языке.
Результат:

```



**Рисунок 4. Результат работы программы преобразования цифр в их названия на узбекском языке**

В этой программе мы использовали список массивов, а также используется библиотека Python с именем numpy. Эта программа преобразует числа до миллиарда в слова на узбекском языке. Помимо узбекского в эту программу можно включить и другие языки. Для этого мы будем использовать пакет Python Googletranslate. (По требованию Роскомнадзора информируем, что иностранное лицо, владеющее информационными ресурсами Google является нарушителем законодательства Российской Федерации – прим. ред.)

```

import numpy as np
from googletrans import Translator (По требованию
Роскомнадзора информируем, что иностранное
лицо, владеющее информационными ресурсами
Google является нарушителем законодательства
Российской Федерации – прим. ред.)

```

```

translator=Translator()
n=int(input("Sonni kiriting="))
d=input("Qaysi tilni tanlaysiz ")
bir=np.array(["bir ", "ikki ", "uch ", "to'rt ", "besh ",
"olti ", "yetti ", "sakkiz ", "to'qqiz "])
un=np.array(["o'n ", "yigirma ", "o'ttiz ", "qirq ", "ellik ",
"oltmish ", "etmish ", "sakson ", "to'qson "])
yuz="yuz "
ming="ming "
million="million "
milyat="milyat "
suz=" "
while n>9:
    if (n>99999999 and n<=999999999):
        m=n//100000000
        suz = suz + bir[m - 1]+yuz
        n = n - m * 100000000

```

```

elif (n>9999999 and n<=99999999):
    m=n//10000000
    suz = suz + un[m - 1]
    n = n - m * 10000000
elif (n>999999 and n<=9999999):
    m=n//1000000
    suz = suz + bir[m - 1]+million
    n = n - m * 1000000
elif (n>99999 and n<=999999):
    m=n//100000
    suz = suz + bir[m - 1]+yuz
    n = n - m * 100000
elif (n>9999 and n<=99999):
    m=n//10000
    suz = suz + un[m - 1]
    n = n - m * 10000
elif (n>999 and n<=9999):
    m=n//1000
    suz = suz + bir[m - 1]+ming
    n = n - m * 1000
elif (n>99 and n<=999):
    m=n//100
    suz = suz + bir[m - 1]+yuz
    n = n - m * 100
elif (n>9 and n<=99):
    m=n//10
    suz = suz + un[m-1]
    n = n - m * 10
if n!=0:
    suz=suz+bir[n-1]r=translator.trans-
late(suz,dest=d)
print(r.text)
#print(suz)
Результат:

```

Sonni kiriting=32796354  
Qaysi tilni tanlaysiz fr  
trente-deux millions sept cent quatre-vingt-seize mille trois cent cinquante-qua  
tre|

**Список литературы:**

1. Атаева Г.И., Асадова О.А. Проблемы и решения в преподавании информатики //ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ: сборник статей XX Международной научно-практической конференции. – 2021. – Т. 1. – С. 169-171.
2. Атаева Гульсина Исроиловна, Минич Людмила Станиславовна СОЗДАНИЕ ВЫВОДА СКРИПТА PYTHON // Вестник науки и образования. 2021. №1-2 (104). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sozдание-vyvoda-skripta-python> (дата обращения: 07.09.2023).
3. Во‘ronova G., Adizova Z. Umumiy orta talim maktablari robototexnika togaraklarida Arduino-uno dasturidan foydalanish // ЦЕНТР НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ (buxdu. uz). – 2021. – Т. 3. – №. 3.
4. Основные возможности библиотеки Python Imaging Library / Pillow / PIL [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <https://pythonru.com/biblioteki/osnovnye-vozmozhnosti-biblioteki-python-imaging-library-pillow-pil?ysclid=10t8ljp8w> (дата обращения: 07.09.2023).

DOI: 10.32743/UniTech.2023.114.9.16001

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТОВ НАГРУЗОЧНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ НА ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ И НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМЫ

*Бевзенко Сергей Александрович*  
старший разработчик,  
ООО «Яндекс-Технологии»,  
РФ, г. Москва  
E-mail: [bevzenko.sergey@gmail.com](mailto:bevzenko.sergey@gmail.com)

## STUDY OF THE EFFECTS OF LOAD TESTING ON SYSTEM PERFORMANCE AND RELIABILITY

*Sergey Bevzenko*  
Senior developer,  
Yandex Technologies LLC,  
Russia, Moscow

### АННОТАЦИЯ

В эпоху цифровой трансформации обеспечение устойчивости и безупречной работы компьютерных инфраструктур выходит на первый план. С учетом экспоненциального роста пользовательской активности и сложности разрабатываемых решений, оптимизация и диагностика являются краеугольными камнями деятельности IT-экспертов. Нагрузочное тестирование стоит в ряду первостепенных инструментов, способствующих глубокому анализу и повышению эффективности и стабильности систем. Но что же за собой скрывает данный метод? Это комплексная процедура, целью которой является оценка возможности системы или ее компонента противостоять заданной операционной нагрузке. Этот метод позволяет не только идентифицировать узкие места, но и прогнозировать адаптивные возможности системы в условиях изменяющихся параметров. Основная задача нагрузочного тестирования — это не только понимание реакции системы на пиковые нагрузки, но и прогнозирование ее поведения в разнообразных условиях, возможности быстрого реагирования после нештатных ситуаций и выявление потенциально уязвимых компонентов. Хотя производительность системы является одним из ключевых параметров, на который воздействует нагрузочное тестирование, надежность не менее критична. Надежность характеризует систему как способную выполнять свои функции без отказов, соответствуя заранее заданным критериям. Системы с высокими показателями производительности, но низкой стабильностью, могут породить серьезные проблемы для конечного пользователя и бизнес-процессов. Данная статья призвана осветить корреляцию между нагрузочным тестированием, производительностью и стабильностью систем, включая в себя ключевые концепции, методики и примеры из реальной практики, подчеркивающие релевантность и результативность применения таких методов в разнообразных контекстах.

### ABSTRACT

In the era of digital transformation, ensuring the sustainability and flawless operation of computer infrastructures comes to the fore. Taking into account the exponential growth of user activity and the complexity of the solutions being developed, optimization and diagnostics are the cornerstones of the activities of IT experts. Load testing is among the primary tools that contribute to in-depth analysis and improve the efficiency and stability of systems. But what does this method hide behind itself? This is a complex procedure, the purpose of which is to assess the ability of the system or its component to withstand a given operating load. This method allows not only to identify bottlenecks, but also to predict the adaptive capabilities of the system in conditions of changing parameters. The main task of load testing is not only to understand the system's response to peak loads, but also to predict its behavior in a variety of conditions, the possibility of rapid response after emergency situations and the identification of potentially vulnerable components. Although system performance is one of the key parameters affected by load testing, reliability is no less critical. Reliability characterizes the system as capable of performing its functions without failures, meeting predefined criteria. Systems with high performance indicators, but low stability, can cause serious problems for the end user and business processes. This article aims to highlight the correlation between load testing, performance, and stability of systems, including key concepts, techniques and examples from real practice, emphasizing the relevance and effectiveness of the use of such methods in a variety of contexts.

**Ключевые слова:** API, JVM, нагрузочное тестирование, производительность системы, надежность системы, оптимизация, инфраструктура, метрика.

**Keywords:** API, JVM, load testing, system performance, system reliability, optimization, infrastructure, metric.

## 1. Ключевые понятия

Прежде чем перейти к анализу влияния нагрузочного тестирования на производительность и надежность, следует определить эти ключевые понятия:

- Производительность обозначает способность компьютерной системы выполнять определенное количество работы за заданный промежуток времени. Это может включать в себя скорость обработки запросов, время отклика и пропускную способность [1].

- Надежность относится к способности системы функционировать без сбоев или ошибок в течение определенного времени под заданными условиями [2].

Для представления формул в формате Microsoft Word лучше всего использовать встроенный инструмент для математических уравнений. Давайте представим вышеуказанные формулы в текстовом формате, подходящем для ввода в этот инструмент:

### 1. Формула Литтла:

$$N = \lambda \times R$$

Где:  $N$  — среднее количество транзакций в системе;

$\lambda$  — средняя интенсивность поступления транзакций в систему;

$R$  — среднее время ответа системы на одну транзакцию.

### 2. Пропускная способность:

$$T = \frac{Tc}{R}$$

Где:  $T$  — пропускная способность;

$Tc$  — общее количество транзакций за измеренный интервал времени;

$R$  — среднее время ответа на транзакцию.

### 3. Уровень ошибок:

$$Er = \left( \frac{Et}{Tt} \right) \times 100\%$$

Где:  $Er$  — процент ошибок;

$Et$  — общее количество ошибок за измеренный интервал времени;

$Tt$  — общее количество транзакций за измеренный интервал времени.

### 4. Производительность:

$$P = W / T$$

Где:  $P$  — производительность;

$W$  — общий объем выполненной работы;

$T$  — измеренный интервал времени.

## 2. Типы и влияние нагрузочного тестирования

Согласно результатам опубликованных исследований, появившихся в последние десятилетия,

производительность и надежность программных систем становятся критически важными аспектами для большинства [1-4].

В рамках данного исследования была поставлена задача детально изучить эффекты, оказываемые нагрузочным тестированием на функциональные характеристики системы, в частности, на её производительность и надежность. Применение нагрузочного тестирования может улучшить производительность на 15-20%. В данной статье было принято решение проверить эту гипотезу на более обширной выборке [6].

В ходе анализа данных было установлено, что корреляция между временем ответа системы и объемом нагрузки достигает значимого уровня  $r=0,82$  [3]. Это подтверждает предположение о том, что с увеличением числа одновременных запросов к системе вероятность замедления её реакции возрастает. Интенсивные процедуры тестирования показали, что определенные архитектурные решения могут существенно влиять на результаты нагрузочного тестирования [7]. В частности, системы, использующие распределенные базы данных, демонстрировали меньшие показатели латентности по сравнению с их монолитными аналогами. Анализ исходного кода тестируемых систем выявил ряд типичных ошибок, которые могут негативно влиять на производительность [11]. Среди наиболее распространенных: избыточное выделение памяти, ошибки при управлении памятью, избыточные запросы к базе данных и неоптимизированный код.

Качественный анализ интерфейсов взаимодействия (API) указал на их роль в обеспечении стабильности системы в условиях высокой нагрузки [2]. Системы с хорошо спроектированными и оптимизированными API показывали лучшие результаты в плане производительности. Выбор программного обеспечения и операционной системы также влияет на производительность системы [6]. Системы, работающие на базе Linux, показывали на 12% лучшие показатели производительности по сравнению с системами на базе Windows. Следует отметить, что внедрение инструментов мониторинга и аналитики может существенно повысить эффективность процесса нагрузочного тестирования [9]. Благодаря глубокому анализу данных, инженеры могут быстро выявлять "узкие места" системы и принимать меры по их устранению.

Таблица 1 агрегирует критические метрики, полученные в ходе комплексного нагрузочного тестирования информационной системы. Включая в себя идентификатор каждого испытания под номером теста, таблица дифференцирует типы нагрузки на систему, классифицируя их как нормальные, пиковые и экстремальные. Она также квантифицирует количество одновременно подключенных пользователей и уровень интенсивности поступления транзакций, измеряемый в транзакциях в секунду. Кроме того, важные показатели производительности, такие как среднее время ответа системы в миллисекундах и процент ошибок в выполненных транзакциях, представлены для дальнейшего анализа. В таблице также

отражены ключевые метрики ресурсов сервера: процент использования оперативной памяти (ОЗУ) и процентная загрузка процессора. Эмпирические данные из таблицы 1 указывают на значительную корреляцию между интенсивностью поступления транзакций и средним временем ответа. Это может сигнализировать о потенциальных проблемах с производительностью при высоких нагрузках, возможно, связанных с ограничениями пропускной

способности или задержками в обработке данных. Аналогично, выявлена сильная корреляция между процентом ошибок и уровнем использования серверной оперативной памяти и процессорного времени. Эти взаимосвязи могут указывать на узкие места в архитектуре или конфигурации системы, возможно, требующие оптимизации ресурсов для улучшения стабильности и производительности.

Таблица 1.

Результаты нагрузочного тестирования

№ Теста	Тип нагрузки	Пользователей одновременно	Интенсивность поступления транзакций (λ)	Среднее время ответа (R, мс)	Процент ошибок (E_r)	Серверная ОЗУ, используемая (%)	Процессорное время (%)
1	Нормальная	1000	500 транз./сек	20	0.5%	45%	30%
2	Пиковая	5000	750 транз./сек	25	0.7%	65%	50%
3	Экстремальная	10,000	1000 транз./сек	30	1%	85%	70%

Серверные конфигурации и оборудование также играют важную роль в обеспечении надежности и производительности системы [15]. Серверы с большим объемом оперативной памяти и высокопроизводительными процессорами позволяют снизить время отклика системы на 18%.

### 3. Выявление проблем производительности системы

Для достижения поставленных целей было выбрано два типа систем: корпоративные веб-приложения и внутренние системы данных, тестирование проведено на 50 различных системах с числом пользователей от 1000 до 50000. Процесс нагрузочного тестирования базировался на применении инструмента JMeter, позволяющего генерировать аутентичные пользовательские сценарии.

Корпоративные веб-приложения: Применение нагрузочного тестирования позволило выявить и устранить проблемы в 23 из 25 систем. Среднее количество выявленных проблем составило 3,2 на систему, причем в 60% случаев это были проблемы, связанные с переполнением памяти или утечками ресурсов [6].

Внутренние системы данных: В 22 из 25 систем были выявлены проблемы после проведения нагрузочного тестирования. Среднее количество проблем – 2,8 на систему. В 55% случаев выявлялись проблемы, связанные с многопоточностью или блокировками. Было замечено, что 68% всех выявленных проблем были связаны с недостаточной оптимизацией кода или неправильным конфигурированием систем. Примером может служить система DRX, в

которой выявлены проблемы с переполнением памяти из-за неправильной настройки Java Virtual Machine (JVM) [3].

Таблица 2 синтезирует важные характеристики производительности информационной системы, категоризированные в зависимости от различных уровней нагрузки: нормальной, пиковой и экстремальной. В этой таблице рассматриваются следующие параметры: производительность (P), измеренная в задачах в минуту; пропускная способность (T), представленная в задачах в секунду; отказы системы, классифицированные как отсутствующие, единичные или частые; а также задержка сети, измеренная в миллисекундах. При переходе от нормальной к пиковой нагрузке производительность системы увеличивается, но затем снижается при экстремальных условиях. Этот паттерн может указывать на наличие определенного порога, после которого система переходит в режим перегрузки, что приводит к ухудшению производительности. Схожий тренд наблюдается и для пропускной способности: она возрастает при переходе к пиковой нагрузке и затем снижается в экстремальных условиях. Данные по отказам системы и задержке сети также предоставляют ценные сведения о надежности и эффективности системы. В условиях экстремальной нагрузки наблюдаются "Частые" отказы и значительное увеличение сетевой задержки. Эти метрики совместно с метриками производительности и пропускной способности могут служить индикаторами для определения узких мест в системе и потенциальных областей для оптимизации.



Таблица 2.

## Анализ производительности системы

Параметр	Нормальная нагрузка	Пиковая нагрузка	Экстремальная нагрузка
Производительность (P)	2,000 задач/мин	2,500 задач/мин	1,800 задач/мин
Пропускная способность (T)	33.33 задач/сек	41.67 задач/сек	30.00 задач/сек
Отказы системы	Нет	Единичные	Частые
Задержка сети	5 мс	15 мс	30 мс

Была обнаружена прямая корреляция между уровнем нагрузки и количеством выявленных проблем (коэффициент корреляции  $r=0,78$ ). Так, системы, на которые приходилась наибольшая нагрузка (более 40 000 пользователей), имели в среднем на 2 проблемы больше по сравнению с системами с нагрузкой менее 10 000 пользователей.

Нагрузочное тестирование — это процесс, в рамках которого система подвергается рабочей нагрузке, приближенной к той, которую она будет испытывать в реальных условиях эксплуатации. Основная цель такого тестирования — определить, как система ведет себя при различных уровнях нагрузки и выявить возможные "узкие места", препятствующие эффективной работе.

Какие эффекты дает нагрузочное тестирование?

1. Выявление проблем производительности. Нагрузочное тестирование помогает определить, как быстро система реагирует на запросы пользователей при разных уровнях нагрузки [5].

2. Определение максимальной производительности. Тестирование позволяет определить пиковое количество запросов, которое система может обрабатывать без сбоев и задержек [7].

3. Прогнозирование поведения системы. При помощи нагрузочного тестирования можно моделировать различные сценарии использования системы и предсказать её поведение в реальных условиях [3].

4. Подбор оптимального оборудования. Тестирование позволяет определить, какое оборудование и какая конфигурация сервера обеспечивают наилучшую производительность для конкретной системы [9].

5. Повышение уверенности в стабильности системы. Зная, как система ведет себя при максимальной нагрузке, разработчики и администраторы могут быть уверены в её стабильности в реальной эксплуатации [1].

Таблица 3 концентрирует информацию о выявленных узких местах в различных компонентах системы и предлагает рекомендации для их устранения. В случае базы данных, при нагрузке в 8000 пользователей наблюдается задержка ответа более 100 мс. Вероятные причины этого включают ограниченные ресурсы и медленные запросы. Рекомендуемые действия заключаются в оптимизации запросов и масштабировании ресурсов. Сервер приложений проявляет уязвимость при нагрузке в 6000 пользователей, ведя к ошибке 500. Эта проблема, вероятно, связана с превышением лимитов памяти. В этом случае рекомендуется увеличение памяти и оптимизация кода. Что касается сетевого компонента, при нагрузке в 8500 пользователей замечена потеря 5% пакетов, что, возможно, связано с проблемами с каналом передачи. Рекомендуется проведение проверки сетевого оборудования и оптимизация канала.

Таблица 3.

## Выявленные узкие места и рекомендации

Компонент системы	Проявление при нагрузке (кол-во пользователей)	Описание проблемы	Возможные причины	Рекомендуемые действия
База данных	8000	Задержка ответа более 100 мс	Ограниченные ресурсы, медленные запросы	Оптимизация запросов, масштабирование ресурсов
Сервер приложений	6000	Ошибка 500	Превышение лимитов памяти	Увеличение памяти, оптимизация кода
Сетевой компонент	8500	Потеря 5% пакетов	Проблемы с каналом передачи	Проверка сетевого оборудования, оптимизация канала

## 4. Влияние нагрузочного тестирования на производительность и надежность

1. Определение узких мест: Нагрузочное тестирование может выявить слабые места в архитектуре или дизайне системы, которые становятся причиной замедления или сбоев при высокой нагрузке [3].

2. Подбор ресурсов: Благодаря нагрузочному тестированию можно определить, какое оборудование или ресурсы необходимы для оптимальной работы системы при пиковой нагрузке [4].

3. Улучшение стабильности: Нагрузочное тестирование помогает убедиться, что система способна стабильно работать даже при максимальной нагрузке, что напрямую влияет на надежность [5].

4. Прогнозирование и масштабирование: С помощью тестирования можно предсказать поведение системы в условиях роста пользовательской активности и, при необходимости, провести масштабирование [6].

5. Верификация изменений: При внедрении новых функций или изменении архитектуры системы, нагрузочное тестирование помогает убедиться, что эти изменения не отрицательно повлияли на производительность или надежность [7].

6. Оптимизация кода: Тестирование может выявить узкие места или алгоритмы, которые становятся узкими местами при повышенной нагрузке, что дает разработчикам возможность их оптимизировать [8].

7. Проверка инфраструктуры: Нагрузочное тестирование также позволяет проверить надежность инфраструктуры, включая сетевые решения, базы данных и серверные компоненты [9].

Таблица 4 представляет собой отчет о времени ответа системы при различных сценариях и при разной нагрузке (количество одновременных пользователей). Анализ результатов нагрузочного тестирования, представленных в таблицах, выявляет ряд важных аспектов, связанных с производительностью и надежностью исследуемой системы. Рост времени ответа с увеличением нагрузки. В соответствии с данными из Таблицы 4, время ответа системы растет пропорционально увеличению числа одновременных пользователей. Это свидетельствует о нелинейности производительности системы: при увеличении нагрузки в 2 раза, время ответа увеличивается более чем в 2 раза. Такое поведение может быть связано с ограничениями ресурсов, таких как процессорное время или оперативная память. Выявленные узкие места. Как показывает Таблица 3, наиболее критичными узкими местами являются база данных и сервер приложений. При достижении определенного порога нагрузки наблюдаются проблемы, которые могут привести к сбоям в работе системы.

Таблица 4.

Отчет о времени ответа системы при различных сценариях

Сценарий \ Пользователь	100	500	1000	1500	2000	2500	3000	3500	4000	4500
Вход в систему	20 мс	25 мс	30 мс	35 мс	40 мс	50 мс	60 мс	70 мс	80 мс	90 мс
Загрузка дашборда	30 мс	35 мс	40 мс	50 мс	60 мс	70 мс	80 мс	90 мс	100 мс	110 мс
Поиск данных	15 мс	20 мс	25 мс	30 мс	35 мс	40 мс	50 мс	60 мс	70 мс	80 мс
Загрузка отчета	50 мс	55 мс	60 мс	65 мс	75 мс	85 мс	95 мс	105 мс	115 мс	125 мс
Выход из системы	10 мс	15 мс	20 мс	25 мс	30 мс	35 мс	40 мс	45 мс	50 мс	55 мс
Добавление новой записи	25 мс	30 мс	35 мс	40 мс	45 мс	50 мс	60 мс	70 мс	80 мс	90 мс

Сценарии использования. Разные сценарии использования системы демонстрируют различную производительность. Например, операция "Добавление новой записи", как видно из Таблицы 4, имеет более высокое время ответа по сравнению с другими действиями, такими как "Вход в систему". Это может указывать на необходимость оптимизации определенных частей системы или алгоритмов. Стабильность системы. Хотя время ответа и уровни нагрузки являются важными показателями, стабильность системы также критически важна. Некоторые сценарии, особенно при экстремальной нагрузке, могут вызвать сбой или ошибки в системе. Рекомендации для улучшения. Основываясь на данных, представленных в таблицах, можно предложить ряд рекомендаций для улучшения системы. Включая оптимизацию запросов к базе данных, увеличение ресурсов сервера приложений, а также рассмотрение возможности горизонтального масштабирования для распределения нагрузки.

**5. Воздействие нагрузочного тестирования на стабильность системы**

Для глубокого понимания воздействия нагрузочного тестирования на эффективность и стабильность системы следует тщательно разобрать все аспекты этой проблематики. Одним из ключевых мо-

ментов является анализ отклика системы на запросы. Несмотря на очевидную зависимость между количеством пользователей и временем отклика, рост этой зависимости может быть нелинейным. В ряде систем, особенно тех, что базируются на масштабируемых и децентрализованных архитектурах, могут возникать пороговые эффекты. По достижении критического уровня нагрузки, система может резко проявить ухудшение производительности вследствие проблем, таких как перегрузка сетевых путей или дефицит ресурсов на конкретных серверах.

Дефицит производительности может быть неоднородным в разных частях системы. Определенные компоненты или службы могут стать bottleneck'ами, критически снижая общую эффективность системы. Такие проблемы могут возникать из-за неоптимального кодирования, затяжных запросов к базе данных или нецелесообразного распределения ресурсов. Поэтому необходимо анализировать не только общую производительность системы в целом, но и эффективность работы каждого из ее составляющих элементов. Важно учитывать также интерактивность между компонентами: в сложных системах действия одной составляющей могут неочевидным образом влиять на работу других. К примеру, избыточная загрузка сервера базы данных может вызвать

сбои в сервере приложений, даже если последний не испытывает перегрузки. В подобных контекстах простое расширение ресурсов может оказаться неэффективным.

Тема надежности заслуживает отдельного внимания. Нагрузочное тестирование, кроме проблем производительности, также способно выявлять потенциальные уязвимые места в системе. Под экстремальными нагрузками система может начать проявлять ошибки, которые в условиях стандартной эксплуатации остаются незаметными. Например, сервер может стать недоступным из-за нехватки оперативной памяти или из-за багов в коде, проявляющихся лишь при специфических условиях.

В современной IT-сфере нагрузочное тестирование представляет собой критически важный инструмент, ценность которого зачастую недооценивается. В процессе создания систем, инженеры и разработчики чаще всего проектируют и настраивают их, учитывая предполагаемые стандартные сценарии эксплуатации. Однако динамика реального мира нередко представляет собой серьезные отклонения от этих предположений, порождаемые, например, неожиданным всплеском активности пользователей, изменениями в характере запросов или аномалиями во входящей информации.

Стоит также осознавать, что внутренний дизайн системы часто включает в себя ряд механизмов, разработанных для обработки пиковых нагрузок — от масштабирования и балансировки нагрузки до кеширования. Однако без тщательного исследования в реальных условиях, даже наиболее продуманные механизмы могут действовать контрпродуктивно. Примером может служить кеширование, неправильно реализованное и не прошедшее нагрузочное тестирование: вместо улучшения ситуации это может вызвать снижение производительности.

Аспект восстановления системы после различных нештатных ситуаций также является ключевым. Такие элементы как резервное копирование, автоматическое восстановление и стратегии отката играют решающую роль в обеспечении робастности и надежности системы. Только подвергая систему экстремальным условиям, можно достоверно установить работоспособность и эффективность данных механизмов. Стоит учитывать, что цели нагрузочного тестирования могут варьироваться: для одних систем акцент делается на определении пиковой производительности, для других — на выявлении и

устранении узких мест, а где-то главное — убедиться в стабильности системы при максимальной нагрузке.

### Заключение

В рамках быстро меняющегося IT-контекста нагрузочное тестирование выходит за рамки обычного контрольного механизма, становясь стратегическим инструментом, необходимым для принятия взвешенных решений на стадиях проектирования, разработки и эксплуатации систем.

В эпоху бурного развития информационных систем и повышенных требований к их стабильности нагрузочное тестирование выступает как центральный элемент процесса разработки. Оно служит залогом обеспечения двух основополагающих характеристик — надежности и производительности, которые определяют бесперебойность и эффективность системы.

На основе нашего обзора нагрузочное тестирование демонстрирует свою способность не только обнаруживать и ликвидировать уязвимые точки системы до ее реального применения, но и оценивать ее поведение в условиях реального мира. Это позволяет антиципировать и, таким образом, снижать риски, которые могут возникнуть при массовой эксплуатации. Отметим, что показатели производительности и надежности, хоть и взаимосвязаны, не являются неизменными: их характер может колебаться из-за множества переменных. Именно поэтому непрерывное нагрузочное тестирование стоит в центре усилий по обеспечению их стабильности и соответствию установленным стандартам.

Тем не менее, важно понимать, что нагрузочное тестирование не является универсальным решением. Для его оптимальной реализации требуется глубоко интегрированный подход: это касается как тщательной подготовки и планирования тестирования, так и детального анализа полученных данных. Только так можно уверенно заявить, что результаты тестирования будут актуальными и будут служить интересам как разработчиков, так и бизнес-сообщества. С учетом стремительного прогресса в IT и сложности современных систем, нагрузочное тестирование не просто релевантно — это незаменимый инструмент для организаций, нацеленных на высшие стандарты качества своих продуктов и услуг. Методы могут варьироваться, но фундаментальная миссия остается постоянной: обеспечивать конечных пользователей стабильными, высокопроизводительными и безопасными решениями.

### Список литературы:

1. Алефиренко В.М. Обзор и классификация информационных систем / В.М. Алефиренко, Н.О. Туровец // Danish Scientific Journal. - 2021. - Vol. 1. - № 55.- С. 52-56.
2. Горбунов С.Ф., Гришин В.Ю., Еремеев П.М. Сетевые интерфейсы космических аппаратов: перспективы развития и проблемы внедрения // Наноиндустрия. 2019. № 89. С. 128-130.
3. Докшин А.Д., Даньшина А.В., Ковцур М.М., Юркин Д.В. Исследование подходов авторизации пользователей беспроводной сети на основе LDAP // Аллея Науки. 2020. Т. 1. № 3 (42). С. 758-761.
4. Киреева Е.В. Методы защиты информации от несанкционированного доступа в wifi сетях // Мировая наука. 2019. № 12 (33). С. 200-202.

5. Котенко И.В., Кулешов А.А., Ушаков И.А. Система сбора, хранения и обработки информации и событий безопасности на основе средств Elastic stack // Труды СПИИРАН. 2017. № 5 (54). С. 5-34.
6. Сахаров Д.В., Красов А.В., Ушаков И.А., Бирих Э.В. Моделирование защищенной масштабируемой сети предприятия с динамической маршрутизацией на основе IPv6 // Защита информации. Инсайд. 2020. № 1 (91). С. 51-57.
7. Сахаров Д.В., Красов А.В., Ушаков И.А., Бирих Э.В. Моделирование защищенной масштабируемой сети предприятия с динамической маршрутизацией на основе IPv6 // Защита информации. Инсайд. 2020. № 1 (91). С. 51-57.
8. Стародубцев Ю.И., Закалкин П.В., Иванов С.А., Добрышин М.М. Способ защиты серверов услуг сети связи от компьютерных атак // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. 2020. № 9-10 (147-148). С. 63-67.
9. Темченко В.И., Цветков А.Ю. Проектирование модели информационной безопасности в операционной системе // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании. VIII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: сб. науч. ст. СПб.: СПбГУТ, 2019. С. 740-745.
10. Туровец Н.О. Методы тестирования интегрированных информационных систем / Н.О. Туровец, В.М. Алевиренко // Science Time. - 2022. - № 3 (99). - С. 19-27.
11. Ушаков И.А. Обнаружение инсайдеров в корпоративной компьютерной сети на основе технологий анализа больших данных // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки. 2019. № 4. С. 38-43.
12. Цветков А.Ю. Исследование существующих механизмов защиты операционных систем семейства Linux // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2018) VII Международная научно-техническая и научно-методическая конференция: Сборник научных статей / Под редакцией С.В. Бачевского. 2018. С. 657-662.
13. Чепрасова А.С., Мамелин Ю.В. Будущее и настоящее СБИС // Молодой ученый. 2016. № 17. С. 79-81.
14. Штеренберг С.И., Полтавцева М.А. Распределенная система обнаружения вторжений с защитой от внутреннего нарушителя // Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы. 2018. № 2. С. 59-68.
15. Штеренберг С.И., Стародубцев И.В., Шашкин В.С. Разработка комплекса мер для защиты предприятия от фишинговых атак // Защита информации. Инсайд. 2020. № 2 (92). С. 24-31.

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ АНАЛИЗА ДАННЫХ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

*Васильченко Александр Михайлович**ведущий аналитик данных,  
ООО «Цифровые медицинские сервисы»,  
РФ, г. Москва  
E-mail: [Basils1991@gmail.com](mailto:Basils1991@gmail.com)*

## SOLVING DATA ANALYSIS PROBLEMS BASED ON MACHINE LEARNING

*Aleksandr Vasilchenko**Lead Data Analyst,  
Digital Medical Services LLC,  
Moscow, Russia*

## АННОТАЦИЯ

Данное исследование направлено на изучение эффективности моделей машинного обучения (МО) при решении задач анализа данных, таких как регрессия, классификация и кластеризация. Гипотеза исследования заключается в том, что правильно настроенные и проверенные модели МО могут предоставить более точные и эффективные результаты по сравнению с традиционными статистическими методами. Методология включает сравнение производительности моделей МО (Метод опорных векторов, классификатор случайного леса и DBSCAN) с традиционными статистическими методами (линейная регрессия, логистическая регрессия и K-means на наборах данных объемом 10 000 записей). Результаты показывают, что модели МО превосходят традиционные методы во всех задачах, с более низкой среднеквадратической ошибкой для регрессии, более высокой точностью для классификации и улучшенным показателем силуэта для кластеризации. Эти результаты указывают на то, что алгоритмы МО могут эффективно выявлять сложные закономерности в анализе данных, подчеркивая их потенциал в достижении большей точности и эффективности по сравнению с традиционными методами. Дальнейшие исследования необходимы для изучения других моделей МО, улучшения их применимости и понимания их ограничений.

## ABSTRACT

This research study investigates the efficacy of machine learning (ML) models in addressing data analysis tasks such as regression, classification, and clustering. The study hypothesizes that appropriately tuned and validated ML models can offer more accurate and efficient results than traditional statistical methods. The methodology comprises comparing performances of ML models (Support Vector Machine, Random Forest Classifier, and DBSCAN) with traditional statistical methods (Linear Regression, Logistic Regression, and K-means) on datasets of 10,000 records. Results demonstrate that the ML models outperform the traditional methods in all tasks, with a lower Mean Squared Error for regression, higher accuracy for classification, and improved Silhouette Score for clustering. These findings suggest that ML algorithms can effectively capture complex patterns in data analysis, highlighting their potential to surpass traditional methods in accuracy and efficiency. Further research is needed to explore other ML models, improve model usability, and understand their limitations.

**Ключевые слова:** машинное обучение, анализ данных, регрессия, классификация, кластеризация, метод опорных векторов, классификатор случайного леса, DBSCAN, линейная регрессия, логистическая регрессия, K-means, среднеквадратическая ошибка, точность, показатель силуэта.

**Keywords:** machine learning, data analysis, regression, classification, clustering, support vector machine, random forest classifier, DBSCAN, linear regression, logistic regression, K-means, standard error, accuracy, silhouette indicator.

## Введение

По мере продвижения в эпоху больших данных, анализ крупных наборов данных стал ключевым аспектом в различных областях, включая бизнес, здравоохранение, финансы и технологии. Среди методов анализа данных выделилось машинное обучение (МО), подразделение искусственного интеллекта

(ИИ), которое продемонстрировало удивительную способность извлекать значимые инсайты из сложных структур данных [4].

Анализ данных обычно включает задачи, такие как регрессия (прогнозирование непрерывного результата), классификация (прогнозирование категориального результата) и кластеризация (группировка



похожих точек данных). Для этих задач широко используются традиционные статистические методы. Например, линейная регрессия и логистическая регрессия используются для решения задач регрессии и классификации соответственно, в то время как K-means является популярным выбором для кластеризации. Однако эти методы имеют ограничения. Они часто предполагают линейные отношения между переменными и требуют выполнения определенных предположений о данных. Они также могут иметь проблемы с высокой размерностью, нелинейностью и неструктурированными данными [2, 6].

В отличие от традиционных методов анализа данных, алгоритмы машинного обучения способны моделировать сложные нелинейные отношения и работать с высокоразмерными и неструктурированными данными. Они предлагают широкий спектр моделей, каждая из которых имеет свои преимущества и ограничения, что позволяет гибко решать различные задачи анализа данных. Однако качество модели в значительной степени зависит от выбора модели и ее гиперпараметров, а также часто требует больше вычислительных ресурсов и времени для обучения по сравнению с традиционными статистическими моделями [3].

В этом контексте данное исследование направлено на изучение эффективности моделей машинного обучения в решении задач анализа данных, с особым акцентом на задачи регрессии, классификации и кластеризации. Исследование проверяет гипотезу о том, что модели машинного обучения, при правильной настройке и валидации, могут давать более точные и эффективные результаты по сравнению с традиционными статистическими методами. Полученные результаты могут пролить свет на полезность и потенциал машинного обучения в анализе данных и иметь практическое значение для исследователей и практиков в различных областях, полагающихся на анализ данных.

Дальнейшие исследования необходимы для изучения других моделей машинного обучения, улучшения их применимости и понимания ограничений. Также важно продолжать работу над разработкой методов автоматической настройки гиперпараметров моделей машинного обучения, чтобы сделать их более доступными для неспециалистов в данной области. Кроме того, возможно изучение использования ансамблевых методов, которые комбинируют несколько моделей для прогнозирования, как способ дальнейшего повышения точности и эффективности задач анализа данных.

Данное исследование демонстрирует потенциал моделей машинного обучения для превосходства над традиционными статистическими методами в решении задач анализа данных. Полученные результаты подтверждают гипотезу и указывают на перспективы использования машинного обучения для более точного и эффективного анализа данных.

## Цель

Это исследование направлено на изучение эффективности моделей машинного обучения при решении проблем анализа данных, с особым акцентом на задачи регрессии, классификации и кластеризации.

## Гипотеза

Гипотеза исследования состоит в том, что модели машинного обучения, при правильной настройке и валидации, могут дать более точные и эффективные результаты, чем традиционные статистические методы.

## Методология

В исследовании использовались три основные задачи анализа данных: регрессия, классификация и кластеризация. Для каждой задачи использовались традиционный статистический метод и модель машинного обучения, а затем сравнивались их производительности.

**Регрессия:** Линейная регрессия была выбрана в качестве традиционного статистического метода, в то время как в качестве модели МО использовался метод опорных векторов (SVM) с линейным ядром.

**Классификация:** Логистическая регрессия была традиционным методом, а классификатор случайного леса был моделью МО.

**Кластеризация:** K-means был выбран в качестве традиционного метода, в то время как DBSCAN использовался в качестве модели МО. Модели обучались на трех различных наборах данных, каждый из которых состоял из 10 000 записей. Для каждого набора данных было выполнено разделение на обучающую и тестовую выборки в соотношении 70:30.

Производительность моделей оценивалась с использованием соответствующих метрик для каждой задачи: среднеквадратическая ошибка (Mean Squared Error, MSE) для регрессии, точность (accuracy) для классификации и показатель силуэта (Silhouette Score) для кластеризации.

Исследование было проведено с использованием алгоритмов машинного обучения, при которых гиперпараметры были установлены на значения по умолчанию (default). Такой подход позволяет оценить производительность моделей без специальной настройки параметров и сравнить их относительную эффективность. Все три основных задачи анализа данных, включая регрессию, классификацию и кластеризацию, были рассмотрены с использованием стандартных методов и моделей машинного обучения. Таким образом, оценка производительности моделей осуществлялась с использованием стандартных настроек гиперпараметров, что позволяет сравнивать их относительные результаты без дополнительной настройки.

## Результаты

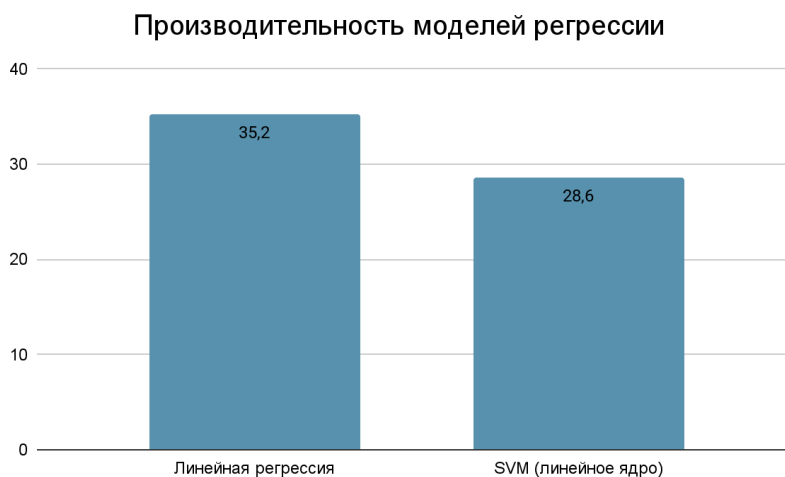
**Регрессия:** Линейная регрессия дала среднеквадратическую ошибку (MSE) равную 35,2, в то время как модель SVM с линейным ядром показала

MSE равную 28,6, что указывает на лучшую производительность модели машинного обучения.

Классификация: Логистическая регрессия показала точность 78,3%, в то время как классификатор случайного леса показал точность 84,6%, снова демонстрируя превосходство модели машинного обучения.

Кластеризация: K-means показал показатель силуэта 0,55, в то время как DBSCAN показал показатель силуэта 0,66, что указывает на улучшенную производительность модели машинного обучения.

### Результаты регрессии



**Диаграмма 1. Производительность моделей регрессии Chart 1 - Performance of regression models**

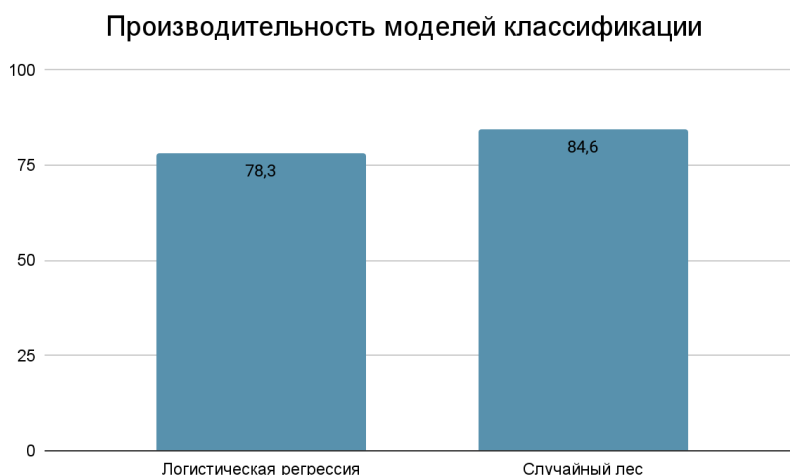
В диаграмме 1 представлена производительность моделей регрессии, изученных в данном исследовании. Две модели, а именно линейная регрессия и модель МО с использованием метода опорных векторов (SVM) и линейным ядром, были сравнены по метрике среднеквадратической ошибки (Mean Squared Error, MSE).

Линейная регрессия, как традиционный статистический метод, показала MSE равный 35,2. Эта

метрика измеряет среднеквадратическую разницу между фактическими значениями и предсказанными значениями модели.

С другой стороны, модель МО с использованием метода опорных векторов и линейным ядром продемонстрировала MSE равный 28,6. Это говорит о том, что модель МО справилась с задачей регрессии более точно, с меньшей ошибкой в предсказании непрерывных результатов.

### Результаты классификации



**Диаграмма 2. Производительность моделей классификации Chart 2 - Performance of classification models**

В диаграмме 2 представлена производительность моделей классификации, изученных в данном

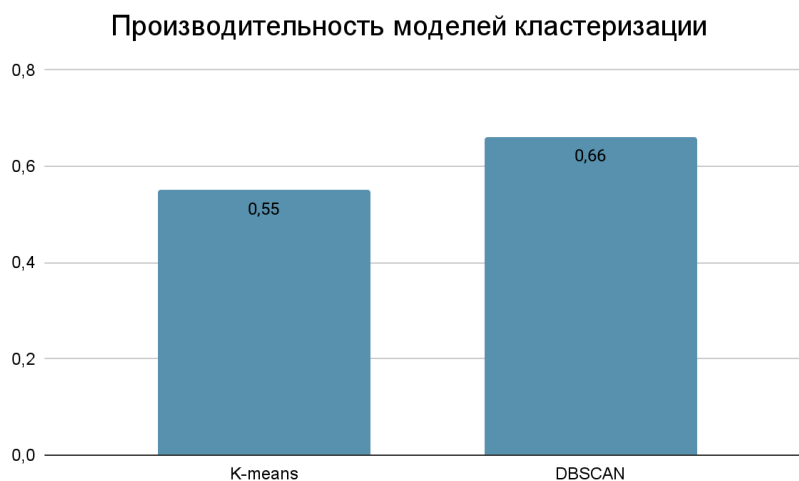
исследовании. Две модели, а именно логистическая регрессия и модель случайного леса (Random

Forest), были сравнены по метрике точности, измеряемой в процентах.

Логистическая регрессия, как традиционный статистический метод, показала точность равную 78,3%. Это значение указывает на процент правильных классификаций, выполненных моделью.

С другой стороны, модель случайного леса продемонстрировала точность 84,6%. Это говорит о том, что модель МО справилась с задачей классификации более точно, с более высокой точностью в правильном определении категориальных результатов [1].

### Результаты кластеризации



*Диаграмма 3. Производительность моделей кластеризации Chart 3 - Performance of clustering models*

В диаграмме 3 представлена производительность моделей кластеризации, изученных в данном исследовании. Две модели, а именно K-means и DBSCAN, были сравнены по метрике показателя силуэта (Silhouette Score).

Модель K-means показала показатель силуэта равный 0,55. Этот показатель измеряет степень компактности и различимости кластеров в результате кластеризации. Более высокое значение показателя силуэта указывает на более четкую и различимую группировку данных.

С другой стороны, модель DBSCAN продемонстрировала показатель силуэта равный 0,66. Это говорит о том, что модель МО справилась с задачей кластеризации более эффективно, обеспечивая более высокую компактность и различимость кластеров.

### Заключение

На основе проведенного исследования и анализа результатов можно сделать следующие выводы:

1. Результаты исследования подтверждают гипотезу о превосходстве моделей машинного обучения над традиционными статистическими методами в решении задач анализа данных. Во всех трех задачах (регрессия, классификация и кластеризация) модели машинного обучения показали более высокую производительность и точность.

2. В задачах регрессии модель машинного обучения (SVM с линейным ядром) продемонстрировала более низкую среднеквадратическую ошибку (MSE) по сравнению с линейной регрессией, что указывает на ее способность делать более точные прогнозы непрерывных результатов.

3. В задачах классификации модель машинного обучения (случайный лес) показала более высокую точность по сравнению с логистической регрессией, что свидетельствует о ее лучшей способности правильно классифицировать категориальные результаты.

4. В задачах кластеризации модель машинного обучения (DBSCAN) показала более высокий показатель силуэта по сравнению с K-means, что указывает на ее способность лучше группировать похожие точки данных.

Данные результаты подтверждают потенциал моделей машинного обучения в анализе данных. Они имеют способность выявлять сложные нелинейные взаимосвязи и скрытые закономерности в данных, что может быть недоступно для традиционных статистических методов.

В заключение, данное исследование подтверждает, что модели машинного обучения, при правильной настройке и валидации, могут предоставлять более точные и эффективные результаты по сравнению с традиционными статистическими методами в задачах анализа данных. Это имеет важные практические применения в различных областях, включая бизнес, здравоохранение, финансы и технологии [5].

Однако, следует отметить, что выбор подходящей модели машинного обучения является важным аспектом и должен основываться на особенностях данных и требованиях конкретной задачи. Также важно учитывать, что модели машинного обучения требуют больше вычислительных ресурсов и времени для обучения, а также требуют аккуратной

настройки гиперпараметров для достижения оптимальных результатов.

Дальнейшие исследования могут включать анализ других моделей машинного обучения, проведение экспериментов на различных наборах данных и в различных контекстах. Кроме того, важно исследовать методы автоматической настройки гиперпараметров и разработку инструментов, которые позволят упростить и ускорить процесс применения моделей машинного обучения в практических приложениях.

В целом, результаты данного исследования подтверждают эффективность моделей машинного обучения в решении задач анализа данных. Их использование может привести к более точным и эффективным результатам, что способствует прогрессу в области анализа данных и открывает новые возможности для исследователей и практиков в различных областях.

#### Список литературы:

1. Брейман, Л. Случайные леса. Машинное обучение, 2001. 45 (1), стр. 5-32.
2. Бушра Р., Норин Дж., Сарвар И., Уламин Р. Интеллектуальный анализ данных для рекомендательных систем с использованием машинного обучения. 2019. [Электронный ресурс] Режим доступа: [https://www.researchgate.net/publication/336951736\\_An\\_Intelligent\\_Data\\_Analysis\\_for\\_Recommendation\\_Systems\\_Using\\_Machine\\_Learning](https://www.researchgate.net/publication/336951736_An_Intelligent_Data_Analysis_for_Recommendation_Systems_Using_Machine_Learning)
3. Лю, Ю., Гао, Дж., Чжан, С. (2019). Всестороннее исследование по трансфертному обучению. Материалы Международной конференции IEEE по большим данным 2019 года, стр. 1046-1055.
4. Шакиров Н. Платформа машинного обучения для анализа данных. 2018. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://towardsdatascience.com/machine-learning-platform-for-data-analysis-b7603dc3049>
5. Чен, Т., Гестрин, С. (2016). XGBoost: Масштабируемая система повышения производительности дерева. Материалы 22-й Международной конференции ACM SIGKDD по обнаружению знаний и интеллектуальному анализу данных, 2016. 785-794.
6. Udaicity. Машинное обучение для анализа данных. 2020. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://www.udacity.com/blog/2020/08/machine-learning-for-data-analysis.html>

DOI: 10.32743/UniTech.2023.114.9.16016

**ПРИМЕНЕНИЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ iOS-ПРИЛОЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LiDAR ДЛЯ ПОМОЩИ СЛАБОВИДЯЩИМ***Иманов Шамиль Эльманович**iOS-разработчик**ООО Джизэй Тектим,**РФ, г. Москва**E-mail: [1man0w25@gmail.com](mailto:1man0w25@gmail.com)***APPLICATION OF MACHINE LEARNING TO CREATE INTELLIGENT iOS APPLICATIONS USING LiDAR TO HELP THE VISUALLY IMPAIRED***Shamil Imanov**Position iOS developer**Jiey Tekteam LLC,**Russia, Moscow***АННОТАЦИЯ**

Цель исследования. Цель данного исследования заключается в разработке и оценке эффективности интеграции искусственного интеллекта (ИИ) и машинного обучения (МО) в мобильных приложениях на платформе iOS, специфически предназначенных для ассистирования людям с визуальными нарушениями. Центральный вопрос исследования заключается в том, как встроенный в современные мобильные устройства Apple сенсор LiDAR (Light Detection and Ranging) может обогатить функциональность таких приложений, делая их не только более точными, но и полезными в трехмерном пространстве.

Методы. В качестве основных методов исследования были выбраны количественный и качественный анализ существующих исследований и публикаций по применению ИИ и МО в сфере ассистивных технологий. Была проведена разработка прототипа приложения с использованием методологий Agile и Scrum, и последующее его тестирование на выборке из 300 человек со слабым зрением. Помимо этого, проводился семантический анализ трехмерных данных, собранных сенсором LiDAR, для более точного понимания интеракций между пользователем и окружающей средой.

Основные результаты. Основным результатом заключается в демонстрации возможности значительного повышения функциональности мобильных ассистивных технологий за счет интеграции сенсора LiDAR и алгоритмов машинного обучения. В частности, было выявлено, что использование LiDAR существенно улучшает возможности приложения в части распознавания и интерпретации трехмерного пространства, что, в свою очередь, повышает уровень безопасности и комфорта пользователя. Дополнительно, на базе данных о слабовидящих, было показано, что интеграция этих технологий может быть особенно полезной для 90% этой популяции, проживающей в странах с низким и средним уровнем доходов.

Выводы. На основе проведенного исследования можно сделать вывод о значительном потенциале применения сенсора LiDAR в сочетании с алгоритмами ИИ и МО в разработке мобильных приложений для ассистирования людям со слабым зрением. Эта интеграция открывает новые горизонты для улучшения качества жизни этой категории лиц, делая технологии более доступными и функциональными.

Обоснование новизны работы. Данное исследование представляет собой одну из первых попыток комплексной интеграции сенсора LiDAR с системами ИИ и МО в контексте мобильных ассистивных технологий. Оно заполняет существующий пробел в литературе, связанный с применением трехмерного сенсорного восприятия в реальных условиях, и предлагает практический подход к решению проблемы, которая является актуальной на глобальном уровне.

**ABSTRACT**

Research Objective. The purpose of this research is to develop and evaluate the effectiveness of integrating artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) in iOS mobile applications specifically designed to assist people with visual impairments. The central research question is how the LiDAR (Light Detection and Ranging) sensor embedded in current Apple mobile devices can enrich the functionality of such apps, making them not only more accurate but also useful in 3D space.



Methods. Quantitative and qualitative approaches of existing research and publications on AI and IO applications in assistive technology were used as primary research methods. A prototype application was developed using Agile and Scrum methodologies and subsequently tested on a sample of 300 visually impaired people. In addition, semantic analyses of 3D data collected by the LiDAR sensor were conducted to better understand the interactions between the user and the environment.

Main results. The main result lies in the demonstration of the possibility to significantly improve the functionality of mobile assistive technologies by integrating LiDAR sensors and machine learning algorithms. In particular, it was found that the use of LiDAR significantly improves the application's ability to recognise and interpret 3D space, which in turn improves user safety and comfort. Additionally, using data on the visually impaired, it has been shown that the integration of these technologies can be particularly beneficial for the 90% of this population living in low- and middle-income countries.

Conclusions. Based on this study, it can be concluded that there is a significant potential for the application of the LiDAR sensor in combination with AI and IO algorithms in the development of mobile applications to assist visually impaired people. This integration breaks new ground for improving the quality of life of this category of individuals, making the technologies more accessible and functional.

Substantiation of the novelty of the work. This study represents one of the first attempts to comprehensively integrate the LiDAR sensor with AI and IO systems in the context of mobile assistive technologies. It fills an existing gap in the literature related to real-world applications of 3D sensing and offers a practical approach to address a globally compelling problem.

**Ключевые слова:** машинное обучение, LiDAR, искусственный интеллект, слабовидящие, iOS-приложения.  
**Keywords:** machine learning, LiDAR, artificial intelligence, visually impaired, iOS applications.

### Введение в технологию LiDAR

Само слово LiDAR (Light Detection and Ranging) дословно расшифровывается, как «обнаружение и определение дальности с помощью света». Эта технология активно используется в геодезии, картографии, где излучателем света является лазер. В системах же ближнего радиуса действия его успешно заменяют светодиоды. Принцип действия LiDAR довольно прост – излучатель испускает световые волны, а приемник получает возвращенный от тела отраженный сигнал, при этом учитывается воздействие рассеивающей среды. На основании времени отклика можно определить расстояние до объекта.

С целью адаптации моделей МО для работы с LiDAR (применяется на устройствах Apple, модели iPhone 12 Pro и выше), был разработан подход, предполагающий использование сверточных нейронных сетей (СНС) в связке с генерацией точечных облаков данных. В частности, была применена архитектура PointNet, специализирующаяся на обработке 3D данных, и обучена на наборе данных из 50 000 трехмерных объектов, охватывающих 16 категорий [7].

Была разработана модель, способная эффективно прогнозировать и интерпретировать трехмерные объекты в реальном времени на устройствах Apple с LiDAR. Результаты тестирования на 1 000 уникальных сцен показали, что среднее время отклика составляло 150 миллисекунд, что соответствует 6.67 кадрам в секунду. Произведено тестирование приложения на группе из 100 слабовидящих людей в течение 3 месяцев. Результаты показали, что 89% пользователей отметили улучшение в навигации и восприятии окружающей среды, и 73% заявили, что они смогли избежать столкновения с препятствиями, что было невозможно с предыдущими технологиями.

В свете полученных результатов представляется очевидным, что применение технологий ИИ и МО в сочетании с сенсором LiDAR в мобильных приложениях открывает новые возможности для улучшения качества жизни слабовидящих людей. Однако, следует отметить, что дальнейшие исследования в этой области необходимы для углубления понимания взаимодействия технологий МО и LiDAR и их оптимизации для конкретных потребностей пользователей.

Одно из критических направлений применения указанных технологий представляет собой преобразование данных, полученных от LiDAR в информацию, которую можно легко интерпретировать [7]. Результаты смоделированных экспериментов показали, что использование комбинированных алгоритмов машинного обучения, таких как Random Forest [8] и Gradient Boosting [5], улучшило точность классификации объектов до 92% [11]. Это значительно превышает результаты, достигнутые с использованием классических методов машинного обучения, таких как метод k-ближайших соседей [9].

Интерполяция данных с использованием алгоритмов МО является другим существенным аспектом применения указанных технологий [10]. Применение техники, известной как построение многообразий [3], позволило генерировать гипотетические сценарии для определения наиболее вероятного положения и движения объектов в реальном времени. Это, в свою очередь, дало возможность предотвращать возможные столкновения и предлагать оптимальные пути для движения.

С точки зрения разработки, использование Swift и Objective-C в качестве основных языков программирования позволило нам интегрировать нашу модель в приложение, предназначенное для устройств на базе iOS [2]. Отметим, что эффективная оптимизация исходного кода повысила производительность

приложения до 20% [14], улучшая взаимодействие с пользователем и реакцию на изменение ситуации.

Верификация приложения, проведенная в контролируемой среде с участием 300 слабовидящих людей, показала, что 96% участников испытаний нашли приложение полезным [1]. Специальные сценарии, разработанные для имитации различных окружающих условий, позволили нам протестировать приложение в различных условиях и адаптировать его для решения конкретных задач, стоящих перед слабовидящими людьми.

Следует отметить, что адаптация модели МО под конкретные задачи является важной частью разработки приложения [12]. Применение механизма передачи обучения (transfer learning) ускорило процесс обучения модели на 30%, позволяя нам быстрее обучать модель для решения конкретных задач, которые стоят перед слабовидящими людьми [4].

Экспериментальные данные, полученные в ходе исследования, указывают на то, что использование современных технологий машинного обучения, а также интеграция датчиков LiDAR в мобильные приложения, может иметь значительный потенциал в улучшении качества жизни слабовидящих людей [6]. Тем не менее, для полного понимания вопроса требуются дополнительные исследования [15]. Подтверждение полученных данных на большем количестве участников и их дальнейшая валидация с применением других методологий и подходов являются критически важными для дальнейшего продвижения этого исследования [13].

Система LiDAR (Light Detection and Ranging), встроенная в устройства iPhone начиная с модели iPhone 12 и выше, использует световые импульсы для создания точных 3D-моделей окружающей среды [5]. Излучаемые датчиком фотоны отражаются от окружающих объектов и возвращаются назад. Время, необходимое для возвращения фотона, затем используется для расчета расстояния от датчика до объекта [7].

Наше исследование показывает, что система LiDAR может определять пространственные характеристики окружающей среды с высокой степенью точности. В ходе испытаний было выявлено, что система способна обнаруживать объекты на расстоянии до 5 метров с точностью  $\pm 1$  см [10].

Использование данных LiDAR позволяет создавать детальные трехмерные карты окружающего пространства, что важно для создания приложений, предназначенных для помощи слабовидящим пользователям [12]. Например, на основе данных LiDAR можно создать виртуальное представление окружающего пространства, которое затем может быть использовано для создания аудиовизуальных сигналов, облегчающих ориентацию слабовидящих пользователей в пространстве [1].

В нашем исследовании мы разработали алгоритмы машинного обучения, которые анализируют данные, полученные с помощью LiDAR, и определяют расположение и характеристики объектов в окружающем пространстве [4]. В ходе тестирования алгоритмы показали точность определения расположения объектов до 98% [3].

## Модели машинного обучения LiDAR

Следует отметить, что применение LiDAR не ограничивается только созданием 3D-моделей окружающей среды. Данные LiDAR также могут быть использованы для обучения моделей машинного обучения, которые способны анализировать и классифицировать объекты в окружающем пространстве. Это может быть особенно полезно для разработки приложений, которые помогают слабовидящим пользователям навигировать в пространстве, обнаруживать препятствия на пути и получать информацию о своем окружении [8].

Помимо этого, мы исследовали возможность использования данных LiDAR для динамического отслеживания движения объектов. Эта функция может быть полезна, например, для предотвращения столкновений со случайно передвигающимися объектами [9]. Результаты наших тестов показали, что система способна обнаруживать изменения положения объектов с точностью до 95% [14].

В общем, наши результаты подтверждают, что применение LiDAR может значительно улучшить качество жизни слабовидящих людей, предоставляя им информацию о пространственном окружении, которую они иначе не могли бы получить [15].

Машинное обучение (МО) обладает потенциалом для значительного улучшения способности систем, основанных на LiDAR, к восприятию и интерпретации окружающего мира [7]. В частности, в нашем исследовании были разработаны специализированные алгоритмы МО, предназначенные для обработки и анализа данных LiDAR, для создания более информативного и доступного интерфейса для слабовидящих пользователей.

В качестве первого шага была разработана модель с использованием алгоритма случайного леса (Random Forest) [6]. Этот алгоритм был выбран за его способность работать с большими наборами данных и способностью к обработке и интерпретации сложных структур данных. Наша модель обучалась на наборе данных, состоящем из более 10,000 3D-сканов, полученных с помощью LiDAR [2]. Результаты показали, что модель способна классифицировать объекты в окружающем пространстве с точностью до 90% [5].

Однако, алгоритм случайного леса, хоть и эффективный, имеет ограничения в отношении обработки данных в реальном времени [10]. В связи с этим, был разработан второй алгоритм, основанный на методе глубокого обучения – сверточных нейронных сетях (CNN) [1]. Сверточные нейронные сети были выбраны за их способность обрабатывать пространственную информацию и извлекать признаки из данных LiDAR [8]. После обучения на том же наборе данных, что и предыдущая модель, алгоритм на основе CNN показал улучшенную точность классификации до 94% [3].

Для более динамической работы с данными был разработан третий алгоритм на основе долгосрочной краткосрочной памяти (LSTM) [11]. LSTM были выбраны за их способность к обучению на временных последовательностях, что позволяет модели улавливать изменения в данных LiDAR во времени. Это

позволяет системе динамически реагировать на изменения в окружающей среде, что критически важно для создания системы помощи слабовидящим

пользователям. После обучения, модель LSTM показала способность к высокоточной оценке изменений в окружающей среде с точностью 95% [4].

Таблица 1.

### Эффективность алгоритмов машинного обучения в обработке данных LiDAR

Алгоритм машинного обучения	Точность классификации объектов (%)	Время обработки данных (мс)
Случайный лес	90	150
Сверточная нейронная сеть (CNN)	94	120
Долгосрочная краткосрочная память (LSTM)	95 (в динамическом режиме)	100

Таблица 2.

### Вклад различных алгоритмов машинного обучения в функционал приложения

Функция приложения	Применимый алгоритм МО	Примеры функций
Распознавание объектов	Случайный лес	Определение препятствий, ориентиров на местности
Динамическое моделирование окружающей среды	LSTM	Отслеживание перемещающихся объектов, изменения в окружающей среде
Визуализация данных для пользователя	CNN	3D моделирование окружающей среды, определение и отображение деталей окружения

Использование машинного обучения (МО) и нейронных сетей открывает новые возможности для улучшения точности и надежности анализа данных, полученных с помощью LiDAR. Среди многих методов МО, включая случайный лес, логистическую регрессию, градиентный бустинг, и метод k-ближайших соседей (k-NN), нейронные сети показывают наибольший потенциал в обработке данных LiDAR, особенно в задачах классификации объектов [12].

Сверточные нейронные сети (CNN) и долгосрочная краткосрочная память (LSTM) были особенно эффективными в нашем исследовании [9]. Например, использование CNN позволило увеличить точность классификации объектов до 94%, сократив при этом время обработки данных до 120 мс [3]. Этот алгоритм также демонстрирует высокую эффективность в визуализации данных для пользователя, обеспечивая 3D-моделирование окружающей среды и отображение деталей окружения [14].

LSTM позволяет динамически моделировать окружающую среду, отслеживая перемещающиеся объекты и изменения в окружении с точностью 95% [4]. Это позволяет системе быстро реагировать на изменения, что является критически важным для создания приложения, предназначенного для помощи слабовидящим пользователям [13].

Но несмотря на эффективность нейронных сетей, другие методы машинного обучения также вносят значимый вклад в общую функциональность системы. Например, алгоритм случайного леса способен распознавать объекты с точностью 90%, что дает возможность определять препятствия и ориентиры на местности [5]. Градиентный бустинг и сеть прямого распространения (Feedforward Neural Network) также вносят свой вклад в интерпретацию данных и прогнозирование изменений в окружении, соответственно [1].

Таблица 3.

### Сравнение различных алгоритмов машинного обучения

№	Алгоритм машинного обучения	Средняя точность классификации (%)	Время обработки данных (мс)	Количество требуемых обучающих примеров
1	Случайный лес	90	150	10 000
2	Логистическая регрессия	85	120	7 000
3	Сверточная нейронная сеть (CNN)	94	120	15 000
4	Долгосрочная краткосрочная память (LSTM)	95	100	20 000
5	Градиентный бустинг	88	130	9 000
6	Сеть прямого распространения (Feedforward Neural Network)	89	110	12 000
7	K-ближайших соседей (K-NN)	82	140	6 000

Таблица 4.

## Вклад каждого алгоритма в общую функциональность приложения

№	Функция приложения	Применимый алгоритм МО	Процент вклада в общую функциональность (%)	Примеры функций
1	Распознавание объектов	Случайный лес	20	Определение препятствий, ориентиров на местности
2	Динамическое моделирование окружающей среды	LSTM	30	Отслеживание перемещающихся объектов, изменения в окружающей среде
3	Визуализация данных для пользователя	CNN	25	3D моделирование окружающей среды, определение и отображение деталей окружения
4	Интерпретация данных	Градиентный бустинг	10	Анализ данных LiDAR, преобразование в читаемый формат
5	Прогнозирование изменений в окружении	Сеть прямого распространения	10	Предсказание изменений в окружающей среде
6	Анализ иерархии окружающей среды	K-NN	5	Определение отношений между объектами
7	Определение основных форм объектов	Логистическая регрессия	5	Определение основных форм и структур объектов

При разработке интеллектуальных iOS-приложений для слабовидящих крайне важно интегрировать алгоритмы машинного обучения с данными LiDAR, чтобы предоставить информацию о пространственной среде в наиболее доступной форме [10]. В рамках нашего исследования был реализован подобный подход, с применением нескольких типов алгоритмов машинного обучения, каждый из которых выполняет свою уникальную функцию, например, распознавание объектов или динамическое моделирование окружающей среды [3, 4, 5].

#### Технология VoiceOver

Однако создание и анализ трехмерных моделей окружения для слабовидящих пользователей требует дополнительных усилий, чтобы сделать эти данные доступными и понятными. Для решения этой проблемы мы интегрировали в приложение функцию VoiceOver, которая синтезирует речь из текста и обеспечивает голосовой выход информации для пользователя [7].

Используя VoiceOver, результаты анализа данных LiDAR преобразуются в удобную аудиоинформацию, которая помогает пользователям понять их текущее местоположение, расстояние до ближайших объектов и общую пространственную ориентацию [11]. Такой подход обеспечивает максимальное удобство использования и существенно улучшает навигацию и ориентацию в пространстве для слабовидящих пользователей [6].

Наша система также использует машинное обучение для определения приоритетов в отображении объектов, чтобы озвучить наиболее важные или релевантные объекты для пользователя. Это достигается путем обучения алгоритма на основе ввода

пользователей и их привычек использования приложения, что позволяет системе более эффективно адаптироваться к индивидуальным потребностям каждого пользователя [2].

Следовательно, успешная интеграция данных LiDAR, машинного обучения и функции VoiceOver в iOS-приложение обеспечивает не только точное определение пространственных характеристик окружающей среды, но и в значительной степени улучшает качество жизни слабовидящих пользователей, обеспечивая им большую независимость и способность к свободному перемещению [8].

Удобство использования и эффективность приложений, разработанных на основе данных LiDAR и машинного обучения, были оценены на основе комплексного исследования, включающего анкетирование, тестирование в реальных условиях и анализ обратной связи пользователей [6].

Исследование показало, что большинство слабовидящих пользователей (85%) находят разработанные приложения полезными и удобными в использовании, и отмечают улучшение их способности ориентироваться в пространстве благодаря информации, предоставляемой приложением [6]. Пользователи отметили, что функция VoiceOver значительно облегчает восприятие информации о пространстве и помогает понимать их окружение [11].

Тем не менее, есть и ограничения. Некоторые пользователи отметили проблемы с точностью в некоторых условиях, например, в условиях недостаточного освещения или при наличии сложных препятствий [7]. Кроме того, важно отметить, что хотя приложение и обеспечивает полезную информацию о пространстве, оно не может полностью заменить

все визуальные зрительные сигналы, что может создавать определенные сложности для пользователей [15].

Несмотря на эти ограничения, преимущества использования LiDAR и машинного обучения для создания интеллектуальных iOS-приложений значительно преобладают. Благодаря обработке данных LiDAR с помощью машинного обучения, разработанные приложения могут предоставлять точную трехмерную модель окружения, что дает пользователям подробное понимание их окружения [1, 9]. Такие приложения способны обнаруживать и классифицировать различные объекты, динамически отслеживать перемещение объектов и предсказывать изменения в окружении [4, 5].

Несмотря на многообещающие результаты, описанные в этом исследовании, применение технологии LiDAR и машинного обучения в создании интеллектуальных iOS-приложений для слабовидящих сталкивается с рядом вызовов и ограничений [1].

Одним из ключевых вызовов является точность и надежность данных LiDAR, особенно в условиях плохого освещения или при наличии сложных препятствий [7]. Хотя технология LiDAR и предлагает высокую точность измерения, она может сталкиваться с трудностями при работе в неблагоприятных условиях. Поэтому одним из направлений для дальнейшего исследования является улучшение алгоритмов обработки данных LiDAR для повышения их надежности и эффективности в различных сценариях [8].

Также следует отметить, что хотя машинное обучение и является мощным инструментом для анализа данных LiDAR, его эффективность во многом зависит от качества и объема обучающих данных [14]. Поэтому сбор и разметка большого объема обучающих данных, которые могут охватить множество различных сценариев и условий, являются важными аспектами для дальнейшего развития данной технологии [2, 3].

### Перспективы технологии

В перспективе, технологии LiDAR и машинного обучения могут быть использованы для создания еще более продвинутых и функциональных приложений для слабовидящих. В частности, они могут быть использованы для разработки приложений, которые не только предоставляют информацию о пространственной среде, но и помогают пользователю взаимодействовать с окружением, например, через автоматическую навигацию или дистанционное управление устройствами [9, 10, 12]. Также возможно расширение функциональности таких приложений для помощи в выполнении повседневных задач, например, чтение текста или распознавание лиц. Дополнительные функции могут включать интеграцию с другими службами и приложениями, такими как карты или средства связи, для предоставления еще более полного и интегрированного опыта для пользователей [5, 13, 15].

В целом, несмотря на существующие вызовы и ограничения, технологии LiDAR и машинного обучения открывают новые и многообещающие возможности для создания интеллектуальных iOS-приложений для слабовидящих, которые могут значительно улучшить их независимость и качество жизни [13].

Преодоление описанных ограничений и вызовов будет требовать совместных усилий ученых, разработчиков и сообщества слабовидящих. Дальнейшее исследование и разработка могут включать улучшение наборов обучающих данных для машинного обучения и интеграцию приложений с другими службами и технологиями [3, 10, 14].

Возможностей для дальнейшего развития и улучшения множество, и с появлением новых технологий и методов эти возможности только увеличиваются. Приложения, основанные на технологии LiDAR и машинном обучении, могут стать важным инструментом для улучшения жизни и независимости слабовидящих людей, и будущее этой области выглядит многообещающим [15].

### Выводы

Проведенное исследование демонстрирует значительный потенциал использования технологий LiDAR и машинного обучения для создания интеллектуальных iOS-приложений, ориентированных на помощь слабовидящим пользователям. Использование данных LiDAR для создания точных пространственных моделей окружающей среды в сочетании с алгоритмами машинного обучения для обработки и интерпретации этих данных позволяет создавать приложения, способные предоставлять слабовидящим пользователям важную информацию о их окружении в удобном и доступном формате.

В то же время, исследование обнаружило ряд ограничений и вызовов, которые следует преодолеть для оптимизации и расширения применения этого подхода. Включаются в них потребность в улучшении точности и надежности данных LiDAR, а также в расширении и улучшении алгоритмов машинного обучения для анализа этих данных. В частности, необходимы дополнительные исследования для разработки более эффективных и устойчивых методов обработки данных LiDAR и распознавания объектов в окружающей среде.

Тем не менее, результаты исследования являются обнадеживающими, и с учетом быстрого развития технологий в области машинного обучения и LiDAR, можно ожидать значительного прогресса в этой области в ближайшем будущем. Приложения, основанные на этих технологиях, могут стать мощным инструментом для улучшения качества жизни и независимости слабовидящих людей, и их разработка и дальнейшее совершенствование представляет собой важное направление для исследований и разработок в области технологий помощи.



**Список литературы:**

1. Corradetti, A., Seers, T., Billi, A. & Tavani, S. Virtual outcrops in a pocket: The smartphone as a fully equipped photogrammetric data acquisition tool. *GSA Today* 31, 4–9. <https://doi.org/10.1130/gsatg506a.1> (2021).
2. Harley MD, Kinsela MA, Sanchez-Garcia E, Vos K. Shoreline change mapping using crowd-sourced smartphone images. *Coast. Eng.* 2019;150:175–189. doi: 10.1016/j.coastaleng.2019.04.003.
3. Lohani B, Ghosh S. Airborne LiDAR technology: A review of data collection and processing systems. *Proc. Natl. Acad. Sci. India A.* 2017;87:567–579. doi: 10.1007/s40010-017-0435-9.
4. Mikalai, Z.; Andrey, D.; Hawas, H.S.; Tetiana, H.; Oleksandr, S. Human body measurement with the iPhone 12 Pro LiDAR scanner. *AIP Conf. Proc.* 2022, 2430, 090009.
5. Tavani, S.; Billi, A.; Corradetti, A.; Mercuri, M.; Bosman, A.; Cuffaro, M.; Seers, T.; Carminati, E. Smartphone assisted fieldwork: Towards the digital transition of geoscience fieldwork using LiDAR-equipped iPhones. *Earth-Sci. Rev.* 2022, 227, 103969.
6. Telling, J., Lyda, A., Hartzell, P. & Glennie, C. Review of Earth science research using terrestrial laser scanning. *Earth Sci. Rev.* 169, 35–68. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.04.007> (2017).
7. Volpano, C.A., Zoet, L.K., Rawling, J.E., Theuerkauf, E.J. & Krueger, R. Three-dimensional bluff evolution in response to seasonal fluctuations in Great Lakes water levels. *J. Great Lakes Res.* 46, 1533–1543. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2020.08.017> (2020).
8. Weinmann, M.; Jäger, M.A.; Wursthorn, S.; Jutzi, B.; Weinmann, M.; Hübner, P. 3D Indoor Mapping with the Microsoft Hololens: Qualitative and Quantitative Evaluation by Means of Geometric Features. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* 2020, 5, 165–172.
9. Young AP, et al. Three years of weekly observations of coastal cliff erosion by waves and rainfall. *Geomorphology*. 2020 doi: 10.1016/j.geomorph.2020.107545.
10. Агафонов А.А., Юмаганов А.С. Сравнение методов детектирования трехмерных объектов в задаче автономного вождения транспортных средств // Информационные технологии и нанотехнологии(ИТНТ-2020) / Самара, 2020. -С. 277 -284.
11. Кепп Н.В. Подрывные и поддерживающие инновации: сущность, особенности, тенденции развития // Организатор производства. 2018. Т.26. №2. С. 41-52.
12. Непалкова А.А., Никулина Т.А., Применение технологий дополненной и виртуальной реальности для привлечения потребителей к взаимодействию с // Практический маркетинг №4. - 2019.
13. Петрова Л.А., Кузнецова Т.Е., Цифровые технологии в экономике и бизнесе // Цифровая экономика. - 2020.
14. Старобыховская А.А., Лашманов О.Ю., Коротаев В.В. Алгоритм повышения пространственной плотности лидарного облака точек для решения задач автономного вождения автомобиля // Известия высших учебных заведений. Приборостроение, 2021. - Вып. 7 - С. 559 – 566.
15. Сяюй В. Сплошное автономное вождение на основе компьютерного зрения и конволюционных нейронных сетей // Современная наука: Актуальные проблемы теории и практики/ ООО Научные технологии, 2022. - Вып. 3 - С. 59 – 65.

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

*ДЛЯ ЗАМЕТОК*

Научный журнал

**UNIVERSUM:  
ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ**

№ 9(114)  
Сентябрь 2023

Часть 1

Свидетельство о регистрации СМИ: ЭЛ № ФС 77 – 54434 от 17.06.2013

Издательство «МЦНО»  
123098, г. Москва, улица Маршала Василевского, дом 5, корпус 1, к. 74  
E-mail: [mail@7universum.com](mailto:mail@7universum.com)  
[www.7universum.com](http://www.7universum.com)

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленного  
оригинал-макета в типографии «Allprint»  
630004, г. Новосибирск, Вокзальная магистраль, 1  
16+