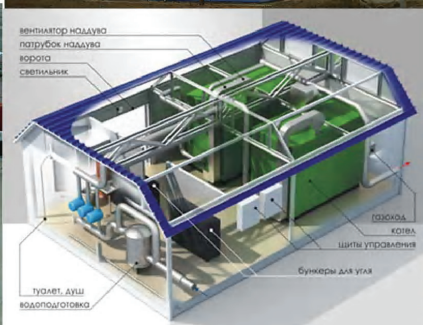
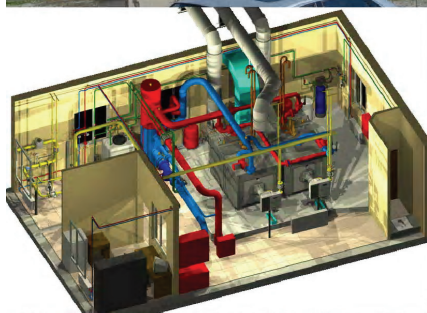
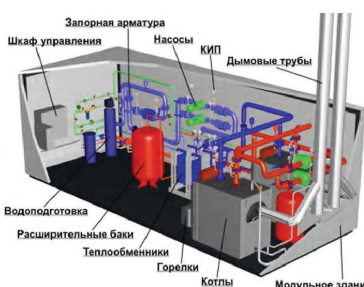


# ВЕСТНИК

ДОНБАССКОЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ



**Выпуск 2023-5(163)**

**ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ  
И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

ФГБОУ ВО "Донбасская национальная академия  
строительства и архитектуры"

# **ВЕСТНИК**

**Донбасской национальной академии  
строительства и архитектуры**

Издается с декабря 1995 года  
Выходит не менее 6 раз в год

**Выпуск 2023-5(163)**

**ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ  
И ТЕХНОГЕННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ**

Макеевка 2023

ФДБОУ ВО "Донбаська національна академія  
будівництва і архітектури"

# **ВІСНИК**

**Донбаської національної академії  
будівництва і архітектури**

Видається з грудня 1995 року  
Виходить не менш 6 разів на рік

**Випуск 2023-5(163)**

**ІНЖЕНЕРНІ СИСТЕМИ  
ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА**

Макіївка 2023

## **Основатель и издатель**

ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Свидетельство о регистрации средства массовой информации серия ААА № 000094

выдано 17.01.2017 г. Министерством информации ДНР

**Регистрация ВАК:** Приказ МОН ДНР № 464 от 02.05.2017 г.

Авторы опубликованных материалов несут ответственность за достоверность приведенных сведений, точность данных по цитируемой литературе и за использование в статьях данных, не подлежащих открытой публикации.

В случае использования материалов ссылка на «Вестник ДонНАСА» является обязательной.

Выпускается по решению ученого совета

ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Протокол № 4 от 27.10.2023 г.

## **Редакционный совет:**

Горохов Е. В., д. т. н., профессор – главный редактор;

Мущанов В. Ф., д. т. н., профессор – зам. гл. редактора (научный редактор);

Югов А. М., д. т. н., профессор – технический редактор;

Лукьянов А. В., д. т. н., профессор – ответственный редактор выпуска.

## **Редакционная коллегия:**

Андрійчук Н. Д., д. т. н., профессор;

Башева Т. С., к. т. н., доцент;

Горохов Е. В., д. т. н., профессор;

Лукьянов А. В., д. т. н., профессор;

Мущанов В. Ф., д. т. н., профессор;

Найманов А. Я., д. т. н., профессор;

Насонкина Н. Г., д. т. н., профессор;

Нездойминов В. И., д. т. н., профессор;

Олексюк А. А., д. т. н., профессор;

Рожков В. С., к. т. н., доцент;

Сердюк А. И., д. т. н., профессор;

Удовиченко З. В., к. т. н., доцент;

Югов А. М., д. т. н., профессор

Программное обеспечение С. В. Гавенко

Компьютерная верстка Е. А. Солодкова

Подписано к выпуску 20.11.2023

## **Адрес редакции и издателя**

Российская Федерация, Донецкая Народная Республика,  
286123, г. о. Макеевский, г. Макеевка, ул. Державина, д. 2.

ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Телефоны: +7 (856) 343-7033, +7 (856) 343-7028

E-mail: [vestnik@donnasa.ru](mailto:vestnik@donnasa.ru), <http://vestnik-donnasa.ru>

Приказом МОН ДНР № 464 от 02.05.2017 г. журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук

Выпущено в полиграфическом центре

ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

Российская Федерация, Донецкая Народная Республика,  
286123, г. о. Макеевский, г. Макеевка, ул. Державина, д. 2

© ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», 2023

### **Засновник і видавець**

ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»  
Свідоцтво про реєстрацію засобу масової інформації серія ААА № 000094  
видано 17.01.2017 р. Міністерством інформації ДНР

**Реєстрація ВАК:** Приказ МОН ДНР № 464 от 02.05.2017 р.

Автори надрукованих матеріалів несуть відповідальність за вірогідність наведених відомостей, точність даних за цитованою літературою і за використання в статтях даних, що не підлягають відкритій публікації.

У випадку використання матеріалів посилання на «Вісник ДонНАБА» є обов'язковим.

Випускається за рішенням Вченої ради  
ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»  
Протокол № 4 від 27.10.203 р.

### **Редакційна рада:**

Горохов Є. В., д. т. н., професор – головний редактор;  
Мущанов В. П., д. т. н., професор – заст. гол. редактора (науковий редактор);  
Югов А. М., д. т. н., професор – технічний редактор;  
Лук'янов О. В., д. т. н., професор – відповідальний редактор випуску.

### **Редакційна колегія:**

Андрійчук М. Д., д. т. н., професор;	Насонкіна Н. Г., д. т. н., професор;
Башева Т. С., к. т. н., доцент;	Нездоймінов В. І., д. т. н., професор
Горохов Є. В., д. т. н., професор;	Олексюк А. О., д. т. н., професор;
Лук'янов О. В., д. т. н., професор;	Рожков В. С., к. т. н., доцент;
Мущанов В. П., д. т. н., професор;	Сердюк О. І., д. т. н., професор;
Найманов А. Я., д. т. н., професор;	Удовиченко З. В., к. т. н., доцент;
	Югов А. М., д. т. н., професор

Програмне забезпечення С. В. Гавенко  
Комп'ютерне верстання Є. А. Солодкова

Підписано до випуску 20.11.2023

### **Адреса редакції і видавця**

Російська Федерація, Донецька Народна Республіка,  
286123, м. о. Макіївський, м. Макіївка, вул. Державіна, буд. 2.  
ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»  
Телефони: +7 (856) 343-7033, +7 (856) 343-7028  
E-mail: vestnik@donnasa.ru, <http://vestnik-donnasa.ru>

Наказом МОН ДНР № 464 від 02.05.2017 р. журнал включено до переліку рецензованих наукових видань, в яких повинні бути опубліковані основні наукові результати дисертацій на здобуття наукового ступеня кандидата наук, на здобуття наукового ступеня доктора наук

Випущено у поліграфічному центрі  
ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»  
Російська Федерація, Донецька Народна Республіка,  
286123, м. о. Макіївський, м. Макіївка, вул. Державіна, буд. 2

© ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», 2023

EDN: GQDPLB

УДК 628.144

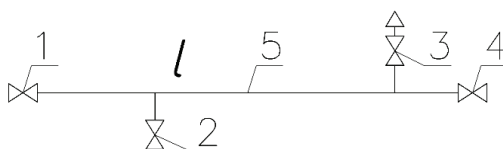
**А. Я. НАЙМАНОВ, Г. С. ТУРЧИНА**ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевский, г. Макеевка**РАЦИОНАЛЬНАЯ ДЛИНА УЧАСТКОВ КОЛЬЦЕВОЙ СЕТИ  
ВОДОСНАБЖЕНИЯ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ**

**Аннотация.** Свойства трубопроводов со временем ухудшаются, и их возможность сопротивляться внешним воздействиям также снижается. Тем не менее, при разработке проектов новых сетей или реконструкции имеющихся в эксплуатации, необходимо оценить возможности элементов системы и предусмотреть в проекте наиболее рациональные решения, отвечающие параметрам надежности на перспективу длительного срока службы сети. Одной из таких характеристик является длина участка трубопровода в распределительной системе водоснабжения. Уменьшение длины стороны кольца в сети, хотя и положительно скажется на повышении надежности, приведет к удорожанию системы из-за увеличения количества самих колец. Увеличение длины участка, наоборот, понизит его надежность. В данной статье рассмотрены возможные длины отдельных трубопроводов в кольцах с учетом действующих законодательных норм и правил, а также практической оценки результатов исследования аварий на водопроводной сети.

**Ключевые слова:** водопроводная сеть, надежность, диаметры и длины трубопроводов, вероятность безотказной работы, коэффициент готовности.

**ВВЕДЕНИЕ**

Надежность участка сети напрямую зависит от его длины. Обычно участок – это отрезок трубопровода, ограниченный с двух концов задвижками (рис. 1).



**Рисунок 1** – Схема участка водопроводной сети: 1, 4 – задвижки в начале и в конце; 2 – выпуск; 3 – вентуз или аэрационный клапан.

В самой низкой, по отметкам земли, точке участка предусматривается выпуск для опорожнения трубопровода в случае необходимости ремонта. В самой высокой точке устанавливается вентуз для впуска и выпуска воздуха. Необходимо определить, при какой длине трубопровода участок будет иметь достаточную надежность в плане бесперебойной подачи воды потребителям, при этом не увеличивая количество колец в сети, что приведет к значительному удорожанию системы.

**АКТУАЛЬНОСТЬ ЗАДАЧИ**

В результате длительной эксплуатации сетей, аварийность трубопроводов значительно повышается. Отказ отдельных участков может привести к перебоям в поставке воды большому количеству потребителей. Помимо этого аварии на трубопроводах приводят к большим потерям воды, что также приводит к нежелательным экономическим последствиям. В ряде работ [7, 8, 9, 10] приведены

© А. Я. Найманов, Г. С. Турчина, 2023



результаты исследований распределительных систем водоснабжения, однако данные значения ниже в сравнении с анализом аварийности сети городов ДНР. Дополнительно стоит учесть, что оценка интенсивности отказов трубопроводов проводилась на основании данных ГУП ДНР «Вода Донбасса» для сетей с длительным сроком эксплуатации (в некоторых случаях превышающих 50 лет), что также вносит весомые поправки в параметры надежности участков. Данные исследования посвящены проблеме поиска оптимальной длины трубопровода, учитывая нормативные требования к длительности отключения участка из-за аварии и полученные результаты интенсивности отказов трубопроводов, находящихся в длительной эксплуатации.

### МАТЕРИАЛЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

С точки зрения надежности участок (рис. 1) представляет собой систему с последовательным соединением элементов (рис. 2).

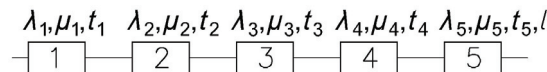


Рисунок 2 – Структурно-логическая схема участка сети.

Интенсивности отказов  $\lambda$  и интенсивности восстановления  $\mu$  для элементов выбираются из справочной литературы [1, 2, 3]. Срок эксплуатации  $t$  для действующих трубопроводов принимается по данным эксплуатирующей организации, а для новых трубопроводов может приниматься равным 1 году. Кстати, после ремонта элемент условно считается новым.

Величины вероятностей безотказной работы  $P$  и коэффициентов готовности  $Kz$  каждого элемента вычисляем по формулам (1, 2), только длина участка в оценке элементов (1–4) не участвует.

$$P_i = e^{-\lambda_i t}; \tag{1}$$

$$Kz = \frac{\mu}{\mu + \lambda}; \tag{2}$$

Вычисляем  $P$  и  $Kz$  для каждого элемента структурно-логической схемы и далее величины  $P$  и  $Kz$  для всего объекта (участка) с последовательным соединением элементов.

$$P_{уч} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4 \cdot P_5; \tag{3}$$

$$Kz_{(уч)} = Kz_{(1)} \cdot Kz_{(2)} \cdot Kz_{(3)} \cdot Kz_{(4)} \cdot Kz_{(5)}. \tag{4}$$

Однако, для вычисления коэффициента готовности систем с последовательным соединением, некоторые специалисты [4, 5] более обоснованной считают формулу (5)

$$Kz_{(сум)} = \frac{1}{1 + \sum_1^n \left( \frac{1}{Kz_{(i)}} - 1 \right)} = \frac{1}{1 + \sum_1^n \left( \frac{\lambda_i}{\mu_i} \right)}. \tag{5}$$

Формула (5) дает несколько большие величины коэффициентов готовности, чем формула (4).

Отметим, что только в  $P_5$  и  $Kz_{(5)}$  входит длина участка  $l$ . Формулы (4) и (5) дают возможность определить допустимую длину участка ( $l$ ), если заданы нормативные величины  $P_{норм}$  и  $Kz_{(норм)}$  для участка сети. Основным документом для определения  $P_{норм}$  и  $Kz_{(норм)}$  можно считать «Правила предоставления коммунальных услуг...» [6]. В соответствии с этим документом допускается за один месяц не более двух перерывов в подаче холодной воды, длительность каждого перерыва не более 4 часов. В качестве объекта услуг «Правила...» рассматривают собственников и пользователей помещений в жилых домах, т. е. абонентов. Поскольку абонент привязан к участку сети водопровода, то требования можно считать относящимися к участку сети. В качестве расчетного периода в [6] принят 1 месяц (720 часов). Число отказов за 1 месяц (30 суток) равно 2, а количество часов отказов (неготовности) составляет 8 часов за расчетный период 720 часов.

Нормативные величины вероятности безотказной работы  $P_{норм}$  и коэффициента готовности  $Kz_{(норм)}$  вычисляются по формулам (6) и (7)

$$P_{(норм)} = \frac{30-2}{30} = 0,933; \quad (6)$$

$$Kz_{(норм)} = \frac{720-8}{720} = 0,989. \quad (7)$$

Теперь можно в формулы (3), (4) и (5) подставить вместо  $P_{уч}$  и  $Kz_{(уч)}$  величины  $P_{норм}$  и  $Kz_{(норм)}$  и найти допустимую длину участка

$$P_{(норм)} = (P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4) P_5 = ae^{-\lambda l}, \text{ отсюда } l = \left( -\frac{\ln P_{норм}}{a} \right) \cdot \frac{1}{\lambda t}, \quad (8)$$

здесь  $a = (P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_4)$  и  $P_1 \cdot P_2 \cdot P_3$  и  $P_4$  не зависят от  $l$ .

За расчетное время  $t$  следует принимать 1 месяц (720 часов). Элементы (1, 2, 3, 4) – это задвижки, для них  $\lambda = 0,6 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$  [2, 3]. Тогда

$$a = (e^{-\lambda t})^4 = (e^{-0,6 \cdot 10^{-4} \cdot 720})^4 \approx (0,958)^4 = 0,8413. \quad (9)$$

В результате формула (9) приобретает вид

$$l = \left( -\frac{\ln 0,933}{0,8413} \right) \cdot \frac{1}{\lambda \cdot 720} = \left( \frac{-0,06935}{0,8413} \right) \cdot \frac{0,001389}{\lambda} = 0,8243 \cdot \frac{0,001389}{\lambda} = \frac{0,0001145}{\lambda} = 1,145 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\lambda}, \text{ км, итак } l = \frac{1,145 \cdot 10^{-4}}{\lambda}, \text{ км.} \quad (10)$$

Очевидно, имеет место быть гиперболическая зависимость  $l$  от  $\lambda$ . Интенсивность отказов  $\lambda$  зависит от материала и диаметра трубопроводов. Кроме того, она может изменяться в течение срока эксплуатации, особенно, для стальных и чугунных труб. В частности, по данным В. С. Ромейко с соавторами [7] количество отказов в год на 1 км за 20 лет эксплуатации стальных труб повышается с 0,5 до 3–4 в зависимости от условий эксплуатации. По данным же службы эксплуатации компании «Вода Донбасса» число отказов может возрасти для стальных труб даже до 5–6 в год на 1 км. В среднем для стальных и чугунных труб следует принять, видимо, величину  $\lambda = 3 \frac{1}{\text{км} \cdot \text{год}}$  для вредных условий

эксплуатации. Если перевести в интенсивность отказов в час, то получим около  $\lambda = 3 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{ч} \cdot \text{км}}$ . Для труб из других материалов – полимеров и высокопрочного чугуна с шаровидным графитом (ВЧШГ), а также труб с защитным покрытием, не отмечено значительное изменение интенсивности отказов  $\lambda$  за время эксплуатации. Рекомендуемая величина  $\lambda = 0,1 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{ч} \cdot \text{км}}$  [7, 8, 9, 10]. Очень мало сведений также о величинах  $\lambda$  для асбестоцементных и железобетонных труб.

Аналогичным путем можно вывести выражение для определения допускаемой длины участка и из формул (3) и (4) для коэффициента готовности. В частности, из уравнения (5) при 4 задвижках на участке

$$Kz_{(сист)} = \frac{1}{1 + 4 \frac{\lambda_{задв}}{\mu_{задв}} + \frac{\lambda l}{\mu}}, \quad (11)$$

здесь  $\lambda_{задв} = 0,6 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{ч}}$ ,  $\mu_{задв} = 4 \cdot 10^{-2} \frac{1}{\text{ч}}$ , [2, 3].

Подставив параметры задвижек, получим

$$Kz_{(сист)} = \frac{1}{1,006 + \frac{\lambda l}{\mu}}. \quad (12)$$



Отсюда, при  $Kz_{(норм)} = 0,989$ , получим

$$l = 0,0051 \frac{\mu}{\lambda}, \text{ км,} \quad (13)$$

здесь  $\mu$  – интенсивность восстановления трубопроводов, 1/ч;  
 $\lambda$  – интенсивность отказов, 1/(ч·км).

Допустимая длина участка зависит уже от двух параметров – интенсивности отказов  $\lambda$  и интенсивности восстановления  $\mu$ . Эти величины зависят от диаметра и материала трубопровода.

Значения интенсивности восстановления  $\mu$  можно получить по данным таблицы 26 СП 31.13330.2021 [11], учитывая, что

$$\mu = 1/T_{\text{в}}, \quad (14)$$

где  $T_{\text{в}}$  – время ликвидации аварии (время восстановления).

Полученные данные приведены в таблице.

**Таблица** – Продолжительность и интенсивность восстановления трубопроводов водоснабжения

Диаметр труб, мм	Расчетное время ликвидации аварии ( $T_{\text{в}}$ ), ч, при глубине заложения труб до 2 м	$\mu$ , 1/ч	Расчетное время ликвидации аварии ( $T_{\text{в}}$ ), ч, при глубине заложения труб более 2 м	$\mu$ , 1/ч
До 400	8	0,125	12	0,083
Св. 400 до 1 000	12	0,083	18	0,056
Св. 1 000	18	0,058	24	0,042

Таким образом, получены две формулы для оценки допустимой длины участка водопроводной сети. Формула (10), исходя из нормативной вероятности безотказной работы  $P_{\text{норм}} = 0,933$ .

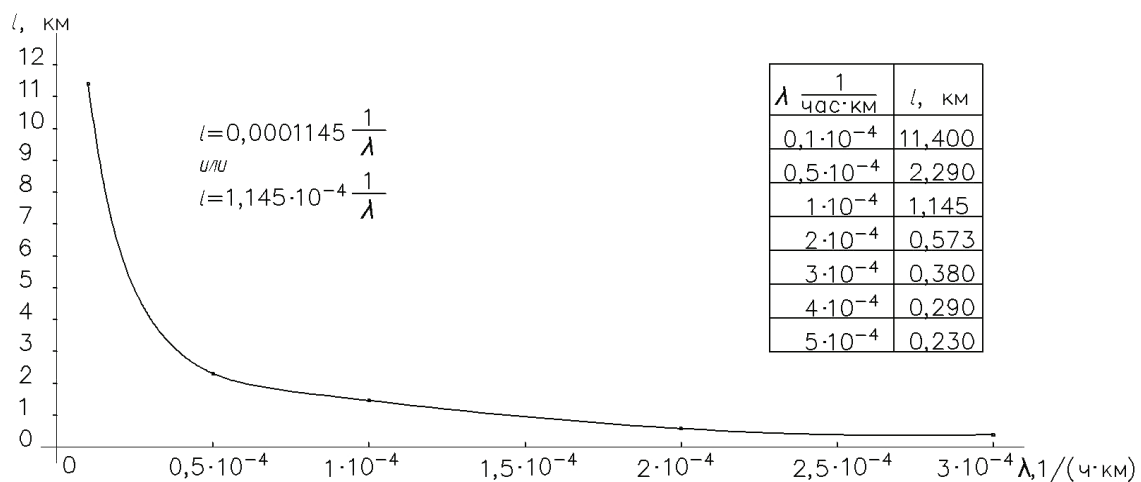
$$l \leq 1,145 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\lambda}, \text{ км.} \quad (15)$$

Формула (13), исходя из коэффициента готовности  $Kg_{(норм)} = 0,989$

$$l = 0,0051 \frac{\mu}{\lambda}, \text{ км.} \quad (16)$$

Графики этих функций представляют собой гиперболы и приведены на рисунках 3 и 4.

Из двух величин рациональной длины участка сети, видимо, следует для проектирования сети принимать меньшее значение.



**Рисунок 3** – Рациональная длина участка, исходя из нормативной величины вероятности безотказной работы  $P = 0,933$ .

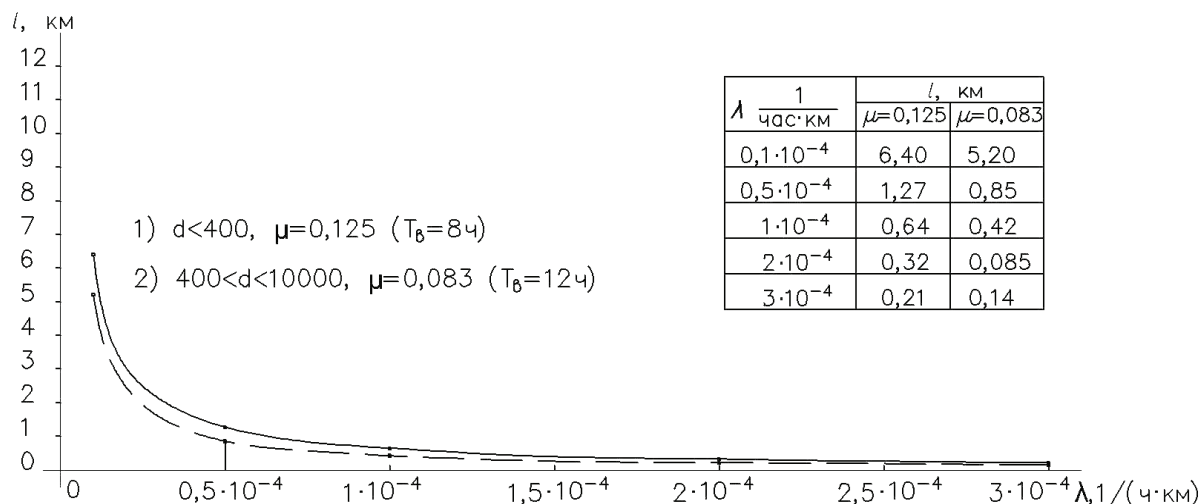


Рисунок 4 – Рациональная длина участка, исходя из нормативного коэффициента готовности  $K_z = 0,989$ .

Необходимо также учитывать, что для трубопроводов большого диаметра (более 500...600 мм) увеличение интенсивности отказов во времени имеет меньшие размеры, и за срок службы 20 лет по данным службы эксплуатации ГУП ДНР «Вода Донбасса» составляет около  $\lambda \approx 1 \frac{\text{отказ}}{\text{год} \cdot \text{км}}$ .

## ВЫВОДЫ

В целом, подводя итоги, можно отметить, что длину стороны кольца водопроводной сети (участка) допустимо принимать:

– для стальных и чугунных труб без защитных покрытий при  $\lambda = 3 \frac{1}{\text{км} \cdot \text{год}}$  за расчетный срок 20 лет:

при  $d < 400 \text{ мм}$   $l \leq 200 \text{ м}$ ;

при  $d \geq 400 \text{ мм}$   $l \leq 200 \text{ м}$ ;

– для пластмассовых труб и стальных и чугунных труб с защитным покрытием, независимо от диаметра  $l \leq 5 \text{ км}$ .

Очевидно, что применение стальных и чугунных труб без защитных антикоррозионных покрытий экономически нерационально, поскольку сеть будет иметь слишком большую длину и много колец.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эксплуатация систем водоснабжения, канализации и газоснабжения: Справочник / под редакцией В. Д. Дмитриева, Б. Г. Мишукова. – 3-е изд., перераб. и доп. – Ленинград : Стройиздат, Ленинградское отделение. – 1988. – 383 с. – ISBN 5-274-00049-5. – Текст : непосредственный.
2. Ильин, Ю. А. Надежность водопроводных сооружений и оборудования / Ю. А. Ильин. – Москва : Стройиздат, 1985. – 241 с. – (Надежность и качество). – Текст : непосредственный.
3. Ильин, Ю. А. Расчет надежности подачи воды : научное издание / Ю. А. Ильин. – Москва : Стройиздат, 1987. – 320 с. – (Надежность и качество). – Текст : непосредственный.
4. Голинкевич, Т. А. Прикладная теория надежности : [учебник для вузов по специальности «Автоматизированные системы управления»] / Т. А. Голинкевич. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 1985. – 168 с. – Текст : непосредственный.
5. Переверзев, Е. С. Надежность и испытания технических систем / Е. С. Переверзев ; АН УССР, Институт технической механики. – Киев : Наукова думка, 1990. – 326. – ISBN 5-12-001291-4 (В пер.). – Текст : непосредственный.
6. Правила предоставления коммунальных услуг собственникам и пользователям помещений в многоквартирных домах и жилых домов : с изменениями : Утверждено Постановлением Правительства РФ от 6 мая 2011 г. № 354, г. Москва. – Текст : электронный // Законодательство России : [сайт]. – 2011. – URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102147807> (дата обращения: 20.07.2022).
7. Защита трубопроводов от коррозии / В. С. Ромейко, В. Г. Баталов, В. Е. Бухин [и др.] ; под редакцией В. С. Ромейко. – Москва : ООО «Издательство ВНИИМП», 2002. – 218 с. – Текст : непосредственный.

8. Строительство трубопроводных систем с применением пластмассовых труб. Стокгольм – Москва : Северное объединение производителей пластмассовых труб (NPG). МГСУ. – 2000. – 114 с. – Текст : непосредственный.
9. Aklog, D. Reliability-based optimal design of water distribution networks / D. Aklog, Y. Hosoi. – DOI: 10.2166/ws.2003.0080. – Текст : электронный // Water Supply : [сайт]. – 2003. – No 3 (1-2). – P. 11–18. – URL: <https://iwaponline.com/ws/article-abstract/3/1-2/11/25698/Reliability-based-optimal-design-of-water?redirectedFrom=fulltext> (дата обращения: 16.09.2023).
10. Kowalski, D. Failure of water supply networks in selected Polish towns based on the field reliability tests / D. Kowalski, K. Miszta-Kruk. – DOI: 10.1016/j.engfailanal.2013.07.017/. – Текст : электронный // ResearchGate : [сайт]. – 2013. – No 35 (2013). – P. 736–742. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/261769066\\_Failure\\_of\\_water\\_supply\\_networks\\_in\\_selected\\_Polish\\_towns\\_based\\_on\\_the\\_field\\_reliability\\_tests](https://www.researchgate.net/publication/261769066_Failure_of_water_supply_networks_in_selected_Polish_towns_based_on_the_field_reliability_tests) (дата обращения: 16.09.2023).
11. СП 31.13330.2021. Свод правил. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения = Water supply. Pipelines and portable water treatment plants : актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84\* : издание официальное : утверждено приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 27 декабря 2021 г. № 1016/пр : дата введения 2022-01-28 / исполнитель Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН). – Москва : Стандартинформ, 2022. – 159 с. – Текст : непосредственный.

Получена 04.09.2023

Принята 27.10.2023

А. Я. НАЙМАНОВ, Г. С. ТУРЧИНА  
РАЦІОНАЛЬНА ДОВЖИНА ДІЛЯНОК КІЛЬЦЕВОЇ ВОДОПРОВІДНОЇ  
МЕРЕЖІ З ТОЧКИ ЗОРУ НАДІЙНОСТІ  
ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», Російська  
Федерація, Донецька Народна Республіка, м. о. Макіївський, м. Макіївка

**Анотація.** Властивості трубопроводів з часом погіршуються, і їх можливість чинити опір зовнішнім впливам також знижується. Тим не менш, при розробці проектів нових мереж або реконструкції існуючих в експлуатації, необхідно провести оцінку можливості елементів системи та передбачити в проекті найбільш раціональне рішення, яке б відповідало параметрам надійності на перспективу тривалого терміну служби мережі. Одною з таких характеристик є довжина ділянки трубопроводу у розподільній системі водопостачання. Зменшення довжини сторони кільця у мережі, хоч і позитивно вплине на підвищення надійності, приведе до удорожчання системи із-за підвищення кількості самих кілець. Підвищення довжини ділянки, навпаки, знизить його надійність. У цій статті розглянуті можливі довжини окремих трубопроводів у кільці з рахунком діючих законодавчих норм і правил, а також практичної оцінки результатів досліджень аварій на водопровідній мережі.

**Ключові слова:** водопровідна мережа, надійність, діаметри і довжини трубопроводів, вірогідність безвідмовної роботи, коефіцієнт готовності.

AUBEKIR NAIMANOV, GALINA TURCHINA  
RATIONAL SECTIONS LENGTH OF LOOP WATER SUPPLES NETS FROM THE  
VIEWPOINT OF RELIABILITY  
FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian  
Federation, Makeevka

**Abstract.** Pipeline properties deteriorate over time, and their ability to resist external influences also decreases. Nevertheless, when developing designs for new networks or reconstructing existing ones in operation, it is necessary to evaluate the capabilities of the system elements and provide for the most rational solutions in the project that meet reliability parameters for the long-term service life of the network. One such characteristic is the length of the pipeline section in the distribution water supply system. Reducing the length of the side of the loop in the network, although it will have a positive effect on improving reliability, will increase the cost of the system due to the increase in the number of loops themselves. Increasing the length of the section, on the contrary, will reduce its reliability. This article considers the possible lengths of individual pipelines in loops, taking into account the current legislative norms and rules, as well as practical assessment of the results of the research of emergencies on the water supply network.

**Keywords:** water supply nets, reliability, diameters and lengths of pipelines, probability of no failure, availability factor.

**Найманов Аубекир Ягопирович** – доктор технических наук, профессор кафедры городского строительства и хозяйства ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: водоснабжение, очистка воды, методы повышения надежности сетей водоснабжения и канализации.

**Турчина Галина Сергеевна** – магистр; старший преподаватель кафедры городского строительства и хозяйства ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: надежность сетей, методы повышения надежности сетей водоснабжения.

**Найманов Аубекір Ягопирович** – доктор технічних наук, професор кафедри міського будівництва та господарства ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: водопостачання, очищення води, методи підвищення надійності мереж водопостачання та каналізації.

**Турчина Галина Сергіївна** – магістр; старший викладач кафедри міського будівництва та господарства ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: надійність систем, методи підвищення надійності мереж водопостачання.

**Naimanov Aubekir** – Dr. Sc. (Eng.), Professor, Municipal Building and Economy Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: water supply, water purification, methods of increasing reliability of water supply and sewer nets.

**Turchina Galina** – MPhil; Senior Lectures, Municipal Building and Economy Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: reliability of systems, methods of increasing reliability of water supply nets.

EDN: VFGTEZ

УДК 628.4

**А. С. ТРЯКИНА, М. Ю. ГУТАРОВА, Ю. В. ГОСТЕВА**ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевский, г. Макеевка

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОБЪЕМОВ НАКОПЛЕНИЯ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ В ГОРОДЕ МАКЕЕВКЕ**

**Аннотация.** Проблема накопления и утилизации твёрдых коммунальных отходов в настоящее время является одной из самых острых проблем в России и мире. Отходы оказывают негативное влияние на экологическую обстановку и здоровье населения. С целью разработки схемы санитарной очистки города Макеевки выполнен расчет перспективных объёмов накопления ТКО с учетом рекомендаций Академии коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова. В результате анализа фактических объёмов ТКО, которые вывозятся на полигон города, выявлено, что фактические объёмы накопления отходов превышают перспективные значения, рассчитанные по методике АКХ им. К. Д. Памфилова. Соответственно, есть необходимость выбора методики, при помощи которой можно будет получить прогнозируемые объёмы накопления ТКО, близкие к фактическим. Для предварительного расчета решено использовать два вида функций, описывающих рост объёмов накопления: линейную и показательную. В результате проведенной работы выявлено, что показательная функция в данном случае будет наиболее точной аппроксимацией, описывающей заданный показатель. Получена зависимость для расчета перспективных значений объёмов накопления ТКО для города Макеевки.

**Ключевые слова:** твёрдые коммунальные отходы, полигоны ТКО, объём накопления ТКО.

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Деятельность человека связана с образованием и накоплением большого количества отходов, правовые основы обращения с которыми регламентируются Законами [1–2]. Ежедневное увеличение объёмов твёрдых коммунальных отходов (ТКО) связано с повышением уровня жизни населения, увеличением количества упаковочного материала, образованием огромного количества одноразовых товаров и изделий [3]. Отходы оказывают негативное влияние на экологическую обстановку. Происходит загрязнение атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, почв, что в свою очередь пагубно сказывается на здоровье человека и состоянии окружающей природной среды.

Большая часть отходов вывозится на полигоны ТКО, а также на свалки, которые являются средой обитания многих паразитирующих грызунов и насекомых, являющихся переносчиками инфекционных заболеваний. Полигоны и свалки отходов занимают большие площади и оказывают значительное негативное влияние на земли, отведенные под складирование коммунальных отходов.

Анализ морфологического состава ТКО показывает, что в общей массе отходов содержится большое количество различных материалов, которые при помощи сортировки можно извлечь и применить для повторного использования, утилизации и переработки. Однако в настоящее время в связи с отсутствием отдельного сбора отходов либо сортировки, они бессмысленно вывозятся и складываются на полигонах захоронения.

Очевидно, что проблема твердых коммунальных отходов является актуальной для нашей республики, так как существует острая необходимость создания эффективной системы управления в сфере обращения с отходами. Данная система должна обеспечивать: снижение негативного влияния на экологию города, освобождение земель, отведенных под полигоны, уменьшение количества свалок отходов, эффективную организацию системы сбора и вывоза отходов, обоснование оптимальной технологии переработки твердых коммунальных отходов.



**Целью** данной работы является определение перспективных объемов накопления твердых коммунальных отходов в городе Макеевке.

### ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

С целью разработки схемы санитарной очистки города Макеевки необходимо знать расчетные объёмы накопления твердых коммунальных отходов на перспективу. Для этих целей предлагается выполнить расчет перспективных объёмов накопления ТКО с учетом рекомендаций Академии коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова. Для жилого сектора формула определения норм накопления отходов на перспективу имеет вид [4–6]

$$N_{np} = N_{исх} \cdot (1 + 0,0265t), \quad (1)$$

где  $N_{np}$  – прогнозируемая норма накопления отходов, млн м<sup>3</sup>;  
 $N_{исх}$  – применяемая (исходная) норма накопления отходов, млн м<sup>3</sup>;  
 $t$  – период прогнозирования, лет;  
 0,0265 – коэффициент, учитывающий ежегодный прирост объемов накопления ТКО, т. е. 2,65 %.

Для ТКО от отдельностоящих объектов общественного назначения, торговых и культурно-бытовых учреждений формула определения норм накопления отходов на перспективу имеет вид [4]

$$M_{np} = M_{исх} \cdot (1 + 0,005t), \quad (2)$$

где  $M_{np}$  – прогнозируемая норма накопления отходов, млн м<sup>3</sup>;  
 $M_{исх}$  – применяемая (исходная) норма накопления отходов, млн м<sup>3</sup>;  
 $t$  – период прогнозирования, лет;  
 0,005 – коэффициент, учитывающий ежегодный прирост объемов накопления ТКО, т. е. 0,5 %.

Общая норма накопления отходов на перспективу имеет вид:

$$N = N_{np} + M_{np}. \quad (3)$$

В таблице 1 представлены данные, рассчитанные по методике АКХ им. К. Д. Памфилова и фактические данные накопления ТКО за определенный период лет.

**Таблица 1** – Данные по образованию твердых коммунальных отходов

Период, год	Фактический объём накоплений, млн м <sup>3</sup>	$N_{np}$ , млн м <sup>3</sup>	$M_{np}$ , млн м <sup>3</sup>	Норма, рассчитанная по методике АКХ им. К. Д. Памфилова, млн м <sup>3</sup>
2010	0,98	817 242,9	167 387,1	0,98
2011	1,02	838 899,8	168 224,0	1,01
2012	1,06	860 556,8	169 061,0	1,03
2013	1,09	882 213,7	169 897,9	1,05
2014	1,12	903 870,6	170 734,8	1,07
2015	1,15	925 527,6	171 571,8	1,10
2016	1,19	947 184,5	172 408,7	1,12
2017	1,23	968 841,5	173 245,6	1,14
2018	1,25	990 498,4	174 082,6	1,16
2019	1,28	1 012 155,3	174 919,5	1,19

Анализ фактических объемов ТКО, которые вывозятся на полигон города, показывает, что фактические нормы накопления отходов превышают перспективные значения, рассчитанные по методике АКХ им. К.Д. Памфилова (рис. 1).

Из представленной выше информации можно сделать вывод, что есть необходимость выбора методики, при помощи которой можно будет получить прогнозируемые объёмы накопления ТКО, близкие фактическим значениям. Для предварительного расчета решено использовать два вида функций, описывающих рост норм накопления: линейную и показательную.

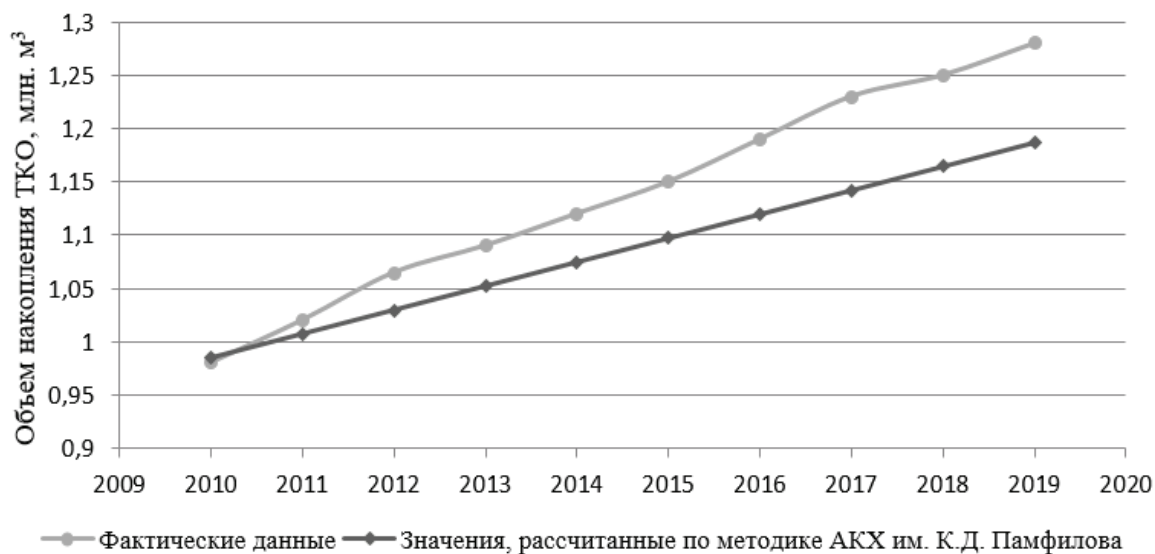


Рисунок 1 – Объемы накопления ТКО за период 2010–2019 гг.

Проведем замену: параметр  $x_i$  обозначим как  $t_i$ , который будет обозначать порядковый номер измерения отходов. Соответственно  $t_i(1)$  соответствует 2010 году, а  $t_i(10)$  соответствует 2019 году. Через  $y_i$  обозначим объемы ТКО, которые соответствуют  $i$ -му измерению, умноженные на  $10^{-6}$ . Коэффициенты для каждой из функций подберем по методу наименьших квадратов. Тогда объемы накопления ТКО можно представить в форме таблицы 2.

Таблица 2 – Фактические объемы накопления ТКО

$t_i$	$y_i$ , (млн м³)	$t_i^2$	$t_i \cdot y_i$ , (млн м³)
1	0,98	1	0,98
2	1,02	4	2,04
3	1,06	9	3,19
4	1,09	16	4,36
5	1,12	25	5,6
6	1,15	36	6,9
7	1,19	49	8,33
8	1,23	64	9,84
9	1,25	81	11,25
10	1,28	100	12,8
$\Sigma 55$	$\Sigma 11,37$	$\Sigma 385$	$\Sigma 65$

1. Линейная функция

$$\bar{y} = a \cdot t + b. \quad (4)$$

Рассмотрим функцию  $f_1(a, b)$ , которая выражает сумму квадратов разностей значений  $\bar{y} = a \cdot t + b$  и  $y_i$ :

$$f_1(a, b) = \sum_{i=1}^{10} (a \cdot t_i + b - y_i)^2. \quad (5)$$

Для получения системы линейных уравнений необходимо приравнять частные производные к нулю. Получаем систему уравнений

$$\begin{cases} a \cdot \sum_{i=1}^{10} t_i^2 + b \cdot \sum_{i=1}^{10} t_i = \sum_{i=1}^{10} t_i \cdot y_i, \\ a \cdot \sum_{i=1}^{10} t_i + b \cdot 10 = \sum_{i=1}^{10} y_i. \end{cases} \quad (6)$$

Находим из решения этой системы параметры  $a$  и  $b$ . При данных параметрах график линейной функции минимальным образом отклоняется от точек  $(t_i, y_i)$ .

Из таблицы 2 подставим значения  $t_i, y_i$  в уравнения системы (7) и получим систему линейных уравнений

$$\begin{cases} 385a + 55b = 65,005, \\ 55a + 10b = 11,371. \end{cases} \quad (7)$$

После решения системы получаем значения параметров  $a = 0,0299$  и  $b = 0,9726$ , при которых линейная функция приобретает вид

$$\bar{y} = 0,0299t + 0,9726. \quad (8)$$

Вычисляем сумму квадратов разностей, чтобы сравнить значения линейной функции с фактическими данными образования ТКО.

Вычислим сумму квадратов разностей по формуле

$$\delta = \sum_{i=1}^{10} (y_i - \bar{y}_i)^2. \quad (9)$$

Таблица 3 – Значения линейной функции

$t_i$	$\bar{y}$ , (млн м <sup>3</sup> )	$y_i - \bar{y}$	$(y_i - \bar{y})^2$ , (млн м <sup>3</sup> )
1	1,0025	-0,02	0,0005
2	1,0324	-0,01	0,0002
3	1,0623	0,00	5E-06
4	1,0922	0,00	5E-06
5	1,1221	0,00	4E-06
6	1,152	0,00	4E-06
7	1,1819	0,01	7E-05
8	1,2118	0,02	0,0003
9	1,2417	0,01	7E-05
10	1,2716	0,01	7E-05
			$\delta = 0,0012$

Итоги расчетов сводим в таблицу 3.

На рисунке 2 изображен график линейной зависимости и фактических значений накопления ТКО.

При преобразовании полученной линейной функции к виду зависимости, которая представлена АКХ им. К. Д. Памфилова (1), будет получена следующая зависимость:



Рисунок 2 – График линейной зависимости относительно фактических данных.



$$\bar{N}_{np} = \bar{N}_{ucx} \cdot (0,0305t + 0,9924). \quad (10)$$

Заменили в формуле (10) параметр  $t$  на  $(t+1)$ , потому что минимальный период прогнозирования не может быть менее одного года.  $\bar{N}_{ucx}$  вынесли за скобки.

2. Показательная функция

$$\bar{y} = a \cdot e^{bt}. \quad (11)$$

Чтобы построить показательную функцию, необходимо в первую очередь прологарифмировать равенство (11). Преобразуем:  $a_1 = \ln a$ . После этого получим

$$\ln \bar{y} = \ln a + bt = a_1 + bt. \quad (12)$$

Рассмотрим функцию  $f_2(a_1, b)$ , выражающую сумму квадратов разностей значений  $\ln \bar{y} = \ln a + bt$  и  $\ln y_i$

$$f_2(a_1, b) = \sum_{i=1}^{10} (a_1 + b \cdot t_i - \ln y_i)^2. \quad (13)$$

После того, как приравняли частные производные этой функции по переменным  $a_1$  и  $b$  к нулю, получили систему линейных уравнений

$$\begin{cases} 10a_1 + \sum_{i=1}^{10} t_i \cdot b = \sum_{i=1}^{10} \ln y_i, \\ \sum_{i=1}^{10} t_i \cdot a_1 + \sum_{i=1}^{10} t_i^2 \cdot b = \sum_{i=1}^{10} t_i \cdot \ln y_i. \end{cases} \quad (14)$$

Решив эту систему уравнений, мы найдем параметры  $a$  и  $b$ , при которых функция  $\bar{y} = a \cdot e^{bt}$  наименьшим образом отклоняется от точек  $(t_p, y_i)$ .

Подставим в систему (15) значения  $t_p, y_i$  из таблицы 2 и получим систему уравнений

$$\begin{cases} 10a_1 + 55b = 1,252, \\ 55a_1 + 385b = 9,308. \end{cases} \quad (15)$$

В таблице 4 показаны прологарифмированные значения  $(\ln y_i)$  и  $(t_i \cdot \ln y_i)$ .

**Таблица 4** – Значения  $(\ln y_i)$  и  $(t_i \cdot \ln y_i)$

$t$	$\ln y_i$ (млн м <sup>3</sup> )	$t_i \cdot \ln y_i$ (млн м <sup>3</sup> )
1	-0,0202	-0,0202
2	0,0198	0,0396
3	0,0626	0,1879
4	0,0862	0,3447
5	0,1133	0,5666
6	0,1398	0,8386
7	0,1740	1,2177
8	0,2070	1,6561
9	0,2231	2,0083
10	0,2469	2,4686
$\Sigma 55$	$\Sigma 1,252$	$\Sigma 9,308$

Решив данную систему уравнений, получим  $a_1 = -0,0363$ ,  $b = 0,0294$ , откуда  $a = e^{a_1} = 0,9644$ .

В таблице 5 представлены значения показательной функции.

Показательная искомая функция имеет вид

$$\bar{y} = 0,9644e^{(0,0294t)}. \quad (16)$$

График показательной функции и фактических значений изображен на рисунке 3.

При преобразовании полученной показательной функции к виду зависимости, которая представлена АКХ им. К. Д. Памфилова (1), будет получена следующая зависимость

$$\bar{N}_{np} = \bar{N}_{ucx} \cdot (0,9841e^{(0,0294t)}). \quad (17)$$

Таблица 5 – Значения показательной функции

$t_i$	$\bar{y}$ , (млн м <sup>3</sup> )	$y_i - \bar{y}$	$(y_i - \bar{y})^2$ , (млн м <sup>3</sup> )
1	0,9931	-0,01	0,00017
2	1,0227	0,00	0,00001
3	1,0531	0,01	0,0001
4	1,0845	0,01	3E-05
5	1,1168	0,00	1E-05
6	1,15	0,00	2E-09
7	1,1843	0,01	3E-05
8	1,2196	0,01	0,0001
9	1,2559	-0,01	3E-05
10	1,2933	-0,01	0,0002
			$\delta = 0,0007$

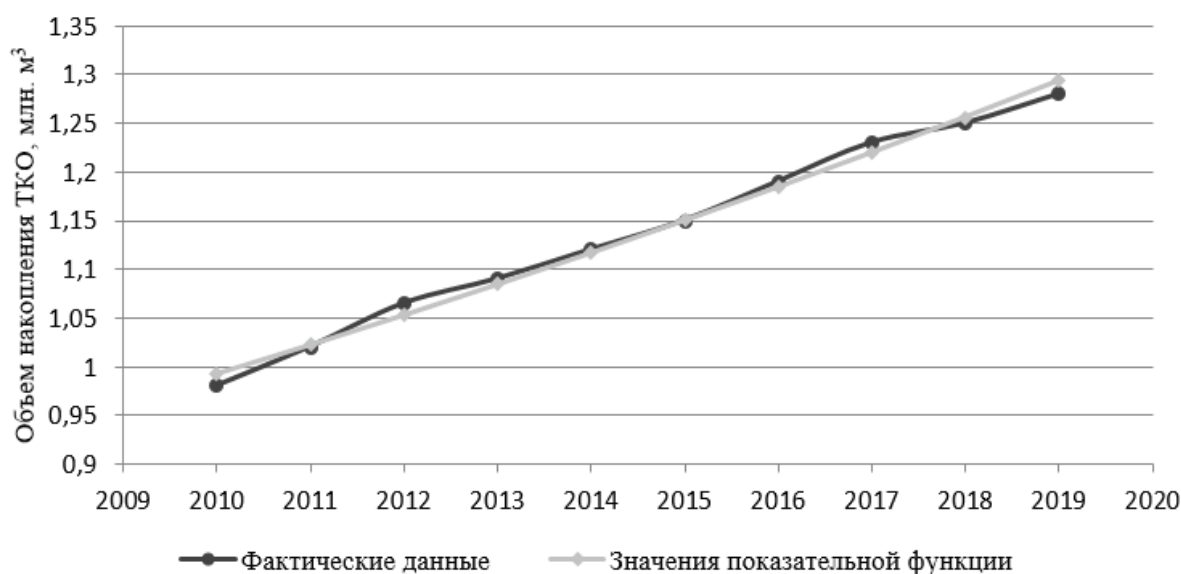


Рисунок 3 – График показательной функции относительно фактических данных.

Сравнивая  $\delta_2$  и  $\delta_1$ , можно сделать вывод, что показательная функция является наиболее подходящей, так как  $\delta_2 < \delta_1$ . С помощью этой функции можно сделать прогноз о предполагаемом количестве ТКО на различный период.

### ВЫВОДЫ

В результате проведенной работы, сравнив суммы квадратов разностей для линейной и показательной функций, выявлено, что показательная функция в данном случае будет наиболее точной аппроксимацией, описывающей заданный показатель. Для расчета перспективных значений объемов накопления ТКО для города Макеевки рекомендуется использовать зависимость (17).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Российская Федерация. Законы. Об отходах производства и потребления : Федеральный закон № 89-ФЗ : текст с изменениями и дополнениями на 4 августа 2023 года : [принят Государственной Думой 22 мая 1998 года : одобрен Советом Федерации 10 июня 1998 года]. – Текст : электронный // Официальный интернет-портал правовой информации : [сайт]. – URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&firstDoc=1&lastDoc=1&nd=102053807> (дата обращения: 01.09.2023).
2. Донецкая Народная Республика. Законы. Об отходах производства и потребления : закон № 82-ИНС : текст с изменениями и дополнениями на 16 марта 2020 года : [принят Постановлением Народного Совета 9 октября 2015 года]. – Текст : электронный // Народный Совет Донецкой Народной Республики 1 созыв : [сайт]. – 2020. – URL: <https://dnrsovetsu/zakon-ob-othodah-proizvodstva-i-potrebleniya-82/> (дата обращения: 01.09.2023).

3. Baker, K. Global municipal solid waste continues to grow: worldwatch Institute report discusses the rising rates of municipal solid waste generated worldwide / K. Baker. – Текст : электронный // Recycling Product News. – Vancouver : Baum Publications Ltd, 2012. – URL: <https://www.recyclingproductnews.com/article/2395/global-municipal-solid-waste-continues-to-grow> (дата обращения: 01.09.2023).
4. Твердые бытовые отходы (сбор, транспортировка и обезвреживание) : справочник / В. Г. Систер, Л. Н. Мирный, Л. С. Скворцов [и др.] – Москва : АКХ им. К. Д. Памфилова, 2001. – 54 с. – Текст : непосредственный.
5. Санитарная очистка и уборка населенных мест : справочник / А. Н. Мирный, Н. Ф. Абрамов, Д. Н. Беньямовский [и др.] ; под редакцией А. Н. Мирного. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Стройиздат, 1990. – 412 с. – Текст : непосредственный.
6. Геоэкологические факторы и нормы накопления твердых бытовых отходов / М. В. Манохин, В. Я. Манохин, С. А. Сазонова [и др.]. – Текст : непосредственный // Известия КГАСУ. – 2015. – № 4 (34). – С. 370–376.

Получена 04.09.2023

Принята 27.10.2023

А. С. ТРЯКИНА, М. Ю. ГУТАРОВА, Ю. В. ГОСТЕВА  
ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРСПЕКТИВНИХ ОБ'ЄМІВ НАКОПИЧЕННЯ ТВЕРДИХ  
КОМУНАЛЬНИХ ВІДХОДІВ У МІСТІ МАКІЇВЦІ  
ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», Російська  
Федерація, Донецька Народна Республіка, м. о. Макіївський, м. Макіївка

**Анотація.** Проблема накопичення та утилізації твердих комунальних відходів в даний час є однією з найгостріших проблем у Росії та світі. Відходи негативно впливають на екологічну обстановку та здоров'я населення. З метою розроблення схеми санітарного очищення міста Макіївки виконано розрахунок перспективних об'ємів накопичення ТКО з урахуванням рекомендацій Академії комунального господарства ім. К. Д. Памфілова. В результаті аналізу фактичних об'ємів ТКО, що вивозяться на полігон міста, виявлено, що фактичні об'єми накопичення відходів перевищують перспективні значення, розраховані за методикою АКХ ім. К. Д. Памфілова. Відповідно, є необхідність вибору методики, за допомогою якої можна буде отримати прогнозовані об'єми накопичення ТКО, близькі до фактичних. Для попереднього розрахунку вирішено використовувати два види функцій, що описують зростання об'ємів накопичення: лінійну та показову. В результаті проведеної роботи виявлено, що показова функція в даному випадку буде найточнішою апроксимацією, що описує заданий показник. Отримано залежність до розрахунку перспективних значень об'ємів накопичення ТКО для міста Макіївки.

**Ключові слова:** тверді комунальні відходи, полігони ТКО, об'єм накопичення ТКО.

ALYONA TRYAKINA, MARINA GUTAROVA, YULIYA GOSTEVA  
DETERMINATION OF PROSPECTIVE VOLUME OF ACCUMULATION OF  
SOLID MUNICIPAL WASTE IN THE CITY OF MAKEYEVKA  
FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian  
Federation, Makeevka

**Abstract.** The problem of accumulation and disposal of municipal solid waste is currently one of the most pressing problems in Russia and the world. Waste has a negative impact on the environmental situation and public health. In order to develop a sanitary cleaning scheme for the city of Makeyevka, a calculation of the future volumes of MSW accumulation was carried out, taking into account the recommendations of the Academy of Public Utilities named after K. D. Pamfilova. As a result of the analysis of the actual volumes of MSW that are transported to the city landfill, it was revealed that the actual volumes of waste accumulation exceed the prospective values calculated using the method of the APU K. D. Pamfilova. Accordingly, there is a need to select a methodology with which it will be possible to obtain predicted volumes of MSW accumulation that are close to actual ones. For preliminary calculations, it was decided to use two types of functions that describe the growth of accumulation volumes: linear and exponential. As a result of the work, it was revealed that the exponential function in this case will be the most accurate approximation describing the given indicator. A dependence was obtained for calculating the prospective values of MSW accumulation volumes for the city of Makeyevka.

**Keywords:** municipal solidwaste, MSW landfills, volume of MSW accumulation.

**Трякина Алена Сергеевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры городского строительства и хозяйства ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: водоснабжение, очистка природных вод, обращение с отходами.

**Гутарова Марина Юрьевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры городского строительства и хозяйства ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: нормирование водопотребления населением городов, водоснабжение, обращение с отходами.

**Гостева Юлия Владимировна** – магистр; старший преподаватель кафедры городского строительства и хозяйства ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: водоснабжение, методы повышения надежности насосных станций и сетей водоснабжения, обращение с отходами.

**Трякіна Альона Сергіївна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри міського будівництва та господарства ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: водопостачання, очищення природних вод, поводження з відходами.

**Гутарова Марина Юрійвна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри міського будівництва та господарства ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: нормування водоспоживання населенням міст, водопостачання, поводження з відходами.

**Гостева Юлія Володимирівна** – магістр; старший викладач кафедри міського будівництва та господарства ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: водопостачання, методи підвищення надійності насосних станцій і мереж водопостачання, поводження з відходами.

**Tryakina Alyona** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Municipal Building and Economy Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: water supply, purification of natural water, waste management.

**Gutarova Marina** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Municipal Building and Economy Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: regulation of water consumption by urban population, water supply, waste management.

**Gosteva Yuliya** – Master; Senior Lecturer, Municipal Building and Economy Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: water supply, methods of increasing reliability of pump station and water supply nets, waste management.

EDN: VHILVE

УДК 628.477

**В. А. МИТЯКИН, В. Н. РАДИОНЕНКО**ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевский, г. Макеевка

## **ОБ ОПЫТЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОГАЗОВОЙ УСТАНОВКИ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ОТХОДОВ**

**Аннотация.** В работе изучено влияния полученных в процессе анаэробной ферментации биологических удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур. В процессе работы экспериментальной биогазовой установки получены биологические удобрения, на основании которых проанализированы результаты лабораторных исследований. Результаты эксперимента показали, что в емкостях контроля основное количество первых ростков появилось через 2–3-е сутки. Количество проросших семян в контроле в среднем 65,5 %, в количестве от 8 до 18 штук, в емкостях с внесенной «Жидкой органикой» количество проросших семян только 36,6 %, в количестве от 6 до 11 штук взошедших семян, в емкостях с внесенным жидким биоудобрением количество проросших семян в среднем составило 87,8 %, в количестве от 11 до 18 штук. Плотность ростков в опытных емкостях с внесенным жидким биоудобрением значительно выше (в среднем 2,499), чем в емкостях с внесенной «Жидкой органикой» (в среднем 0,579) и контроле (в среднем 1,300).

**Ключевые слова:** сельскохозяйственные отходы, переработка, биогазовая установка, биологические удобрения.

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

На современном этапе, агропромышленный комплекс России, сталкивается с проблемой утилизации существенного количества отходов. В основном сельскохозяйственные отходы банально вывозятся с территорий ферм и складываются, что приводит к проблемам окисления и заражения почв, отчуждению сельскохозяйственных земель, загрязнению грунтовых вод и выбросам в атмосферу метана [1]. В Российской Федерации, на государственном уровне установлена стратегия по решению вопросов охраны окружающей среды в современных реалиях развития научно-технического прогресса. Реализация программы связана с организацией экологически малоотходного производства, внедрения ресурсосберегающих технологий, позволяющие рационально использовать первичные сырьевые ресурсы, комплексно перерабатывать вторичное сырье. Проводимые нами исследования позволят изучить возможности широкомасштабного использования биологических удобрений с целью повышения плодородия земель. Это предопределяет необходимость всестороннего изучения структуры, свойств и качества биологических удобрений, получаемых в результате биогазовой технологии переработки сельскохозяйственных отходов [2]. Основной целью работы является изучение влияния полученных в процессе анаэробной ферментации биологических удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур.

### **ЦЕЛЬ**

Изучение влияния полученных в процессе анаэробной ферментации биологических удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур.

### **ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ**

Для определения влияния биологических удобрений, полученных в процессе анаэробной ферментации в метантенке, на урожайность сельскохозяйственных культур, был проведен эксперимент. В



качестве испытуемой культуры была взята рожь, которая является фитосанитарной культурой. Эксперимент по влиянию на урожайность культур жидкого биологического удобрения проводили в сравнении с гумусом (контроль) и «Жидкой органикой».

Для проведения эксперимента нам потребовалось 15 емкостей, диаметром равным 55 мм и объемом 155 мл. Каждую емкость перед закладкой тщательно промывали, высушивали и нумеровали. Пять емкостей были контрольными – только гумус. Почву в других 5 емкостях поливали рабочим раствором жидкого биологического удобрения (на 1 литр воды 10 мл концентрата), в остальных емкостях почва поливалась рабочим раствором «Жидкой органики». Посадка производилась по 18 семян на емкость с глубиной посадки – 0,5 см. Опытные емкости поливали теплой водой и размещали в светлом и теплом месте. Предварительно, до проведения эксперимента, семена ржи тщательно осматривали и замачивали до прорастания.

Замачивание и проращивание семян с добавлением удобрений осуществлялось по той же методике, однако вместо воды мы использовали рабочий раствор (на 1 литр воды 10 мл концентрата). Параллельно «Жидкую органику» и жидкие биологические удобрения использовали для подготовки почвы к выращиванию проросших семян ржи, а именно прогревали почву до температуры не менее 5 °С, поливали почву рабочим раствором, через 4 дня высаживали проросшие семена ржи, а на 5-е сутки после посадки, поливали ростки ржи рабочим раствором. В емкостях контроля почву поливали водой.

При наблюдении за протеканием эксперимента фиксировали следующие параметры:  $t_0$  = время посадки семян,  $t_1$  = появление первого ростка,  $t_2$  = появление 50 % ростков,  $t_3$  = время появления 100 % ростков. На 10 день роста ржи произвели замеры длины каждого ростка в емкостях контроля, в емкостях с внесением жидкого биологического удобрения и «Жидкой органики» (отдельно для каждой емкости) и затем вычисляли среднюю длину для каждой емкости. Для определения биомассы ржи в опытных емкостях с внесением жидкого биологического удобрения и в емкостях с внесением жидкого органического удобрения, а также в контроле, на 10-й день, определяли общий вес ростков в каждой емкости отдельно и вычисляли их средний вес.

Биогазовая установка предназначена для переработки отходов животноводства и осадка сточных вод в биологические удобрения и биогаз, с возможным преобразованием его в тепловую и электрическую энергии [3–4]. Для работы биогазовой установки используют 2 вида сырья: свиной навоз с влажностью 93...95 % и свиной навоз с влажностью 97...98 % с добавлением навоза КРС (10...30 %), продуктов переработки, получаемых на БГУ. Содержание элементов питания в свином навозе с влажностью 93...95 % представлено в таблице 1.

**Таблица 1** – Содержание элементов питания в свином навозе с влажностью 93...95 %

Содержание элементов питания, %					рН
Азот	Фосфор	Калий	Магний	Кальций	
4,5...8,4	1,9...5,8	6,0...6,2	0,9	1,8	7,9

Содержание элементов питания в свином навозе с влажностью 97...98 % с добавлением навоза КРС (10...30 %) и продуктов переработки, получаемых на БГУ (10...30 %) представлено в таблице 2.

**Таблица 2** – Содержание элементов питания в свином навозе с влажностью 97...98 % с добавлением навоза КРС

Содержание элементов питания, %					рН
Азот	Фосфор	Калий	Магний	Кальций	
4,0...8,8	1,7...5,0	5,0...6,6	0,7...0,9	1,2...1,8	7,3...7,7

Исходная биомасса с помощью насоса-измельчителя загружается в емкость для накопления субстрата, из которой периодически порциями поступает в ферментатор. На 1 этапе в ферментаторе происходит предварительная подготовка сырья – термическая обработка и очистка от небактериальных включений. На 2 этапе происходит сам процесс анаэробного сбраживания биомассы. Полученное в результате брожения удобрение, с помощью насоса выгружается в емкость для накопления удобрения. Образующийся биогаз под собственным давлением поступает в фильтрующее устройство.

Фильтрующее устройство осуществляет трех-стадийную обработку биогаза:

- 1 этап: удаление лишней влажности из биогаза;
- 2 этап: отбор сероводорода;
- 3 этап: удаление излишек углекислого газа.

Из фильтрующего устройства часть очищенного биогаза попадает в накопитель, а другая часть может расходоваться на работу газового электрогенератора, обеспечивая энергией всю систему. В процессе биологической, термофильной, метангенирующей обработки органических отходов в экспериментальной биогазовой установке образуются биологические удобрения.

Показатели, по которым оценивается качество органических удобрений, описаны в ГОСТ 33380-2015 «Удобрения органические. Эффлюент. Технические условия» [5].

В соответствие с ГОСТ показатели для органического растениеводства, следующие:

Массовая концентрация примесей токсичных элементов, мг/кг сухого вещества, не более: ртути – 0,4; свинца – 45,0; кадмия – 0,7.

Наличие болезнетворных и патогенных микроорганизмов, клеток/г – не допускается.

Наличие личинок и яиц гельминтов, а также нематод, экз./кг – не допускается.

Наличие куколок и личинок синантропных мух, а также семян сорной растительности, экз./кг – не допускается.

Показатель активности водородных ионов или реакции водной среды, ед. рН – 6,0...8,0.

Массовая доля питательных веществ в эффлюенте, %, не менее: фосфора общего – 0,1; азота общего – 0,2; калия общего – 0,2.

В процессе работы экспериментальной биогазовой установки получены биологические удобрения, на основании которых были произведены лабораторные анализы. Данные биологические удобрения проявляют слабо-кислотную реакцию с рН = 6,5...6,9. В составе концентрата (в перерасчете на сухое вещество) обнаруживается: нитратного азота – не менее 45 мг/100 г; органического вещества – не менее 30 %; общего азота – не менее 4 %; обменного калия – 2 %.

В удобрении обнаруживаются живые микроорганизмы, деятельность которых определяет свойства удобрения. Наличие живой микрофлоры определяет отрицательный ОВП на уровне не менее 150 мВ.

Полученные данные результатов анализа показателей биоудобрений, соответствуют требованиям стандарта ГОСТ 33380-2015 «Удобрения органические. Эффлюент. Технические условия» [5] и не превышают указанные нормы.

Всего при проведении эксперимента было использовано (засеяно) 270 семян, 90 в контроле и по 90 в опытных емкостях с жидким биоудобрением и «Жидкой органикой». При наблюдении за протеканием опытов фиксировали следующие параметры:  $t_0$  – время посадки семян;  $t_1$  – появление первого ростка, суток;  $t_2$  – появление 50 % ростков, суток;  $t_3$  – время всхода 100 % ростков, суток.

Результаты эксперимента с рожью показали, что в емкостях контроля основное количество первых ростков появилось через 2–3-е сутки (в среднем – 2,4), количество 50 % ростков появилось на 4–6-е сутки (в среднем – 4,8), а 100 % ростков появилось в 3 опытной емкости на 8 день.

В емкостях с внесенной «Жидкой органикой» первые ростки появились на 2–4-е сутки (в среднем – 2,8), количество 50 % ростков появилось в 1 опытной емкости на 5 день.

В емкостях с внесенным жидким биоудобрением первые ростки появились на 2–3 сутки (в среднем – 2,2), количество 50 % ростков в опытной емкости появилось на 4–5-е сутки (в среднем – 4,4), количество 100 % ростков появилось в 1 опытной емкости на 9 день, а во 2 и 5 на 8 день.

## ВЫВОДЫ

Из представленных данных можно сделать вывод, что использование жидкого биоудобрения положительно сказывается на величине всхожести ржи, по сравнению с показателями контроля и емкостей с внесенной жидкой органикой.

Количество проросших семян в контроле в среднем 65,5 %, в количестве от 8 до 18 штук, в емкостях с внесенной «Жидкой органикой» количество проросших семян только 36,6 %, в количестве от 6 до 11 штук взошедших семян, в емкостях с внесенным жидким биоудобрением количество проросших семян в среднем составило 87,8 %, в количестве от 11 до 18 штук.

Общий вес ростков ржи на 10-е сутки в емкостях с внесенным жидким биоудобрением составил в среднем 2,499, в емкостях с внесенной «Жидкой органикой» вес ростков составил 0,822, а в контроле общий вес ростков в среднем составил 1,300 г. Плотность ростков в опытных емкостях с внесенным жидким биоудобрением значительно выше (в среднем 2,499), чем в емкостях с внесенной «Жидкой

органикой» (в среднем 0,579) и контроле (в среднем 1,300). В целом, результаты эксперимента свидетельствуют о положительном влиянии жидких биоудобрений на продуктивные качества выращиваемой культуры.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Афанасьев, В. Н. Состояние и основные пути улучшения экологической ситуации / В. Н. Афанасьев. – Текст : непосредственный // Сельскохозяйственные вести. – 2005. – № 6. – С. 12–13.
2. Никулин, Н. Современные биогазовые технологии – перспективный метод решения экологических проблем агропромышленного комплекса / Н. Никулин. – Текст : непосредственный // Главный агроном. – 2012. – № 9. – С. 67–69.
3. Курис, Ю. В. Определение технологических возможностей энергетического использования биомассы / Ю. В. Курис, А. Ю. Майстренко, С. И. Ткаченко. – Текст : непосредственный // Энергетика и электрификация. – 2008. – № 7. – С. 35–40.
4. Бурга, Г. Биогаз на основе возобновляемого сырья: Сравнительный анализ шестидесяти одной установки по производству биогаза в Германии / Г. Бурга, К. Ригер – Текст : электронный // «СтудМед» : [сайт]. – 2008–2023. – URL: [https://www.studmed.ru/view/burga-gemmeke-krista-riger-peter-vayland-biogaz-na-osnove-voznovlyaemogo-syrya\\_d5ad1168db1.html](https://www.studmed.ru/view/burga-gemmeke-krista-riger-peter-vayland-biogaz-na-osnove-voznovlyaemogo-syrya_d5ad1168db1.html) (дата обращения: 01.09.2023).
5. ГОСТ 33380-2015. Удобрения органические. Эффлюент. Технические условия = Organic fertilizers. Effluent. Specifications : введен Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 3 августа 2015 г. № 1039-ст и введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 января 2017 г. : введен впервые : дата введения 2017-01-01 / разработан Федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Всероссийский научно-исследовательский институт органических удобрений и торфа». – Москва : Стандартинформ, 2015. – 15 с. – URL: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293761/4293761268.pdf> (дата обращения: 08.09.2023). – Текст : электронный.

Получена 08.09.2023

Принята 27.10.2023

В. О. МІТЯКІН, В. М. РАДІОНЕНКО  
ПРО ДОСВІД ВИКОРИСТАННЯ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ ПІД ЧАС  
ПЕРЕРОБКИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ВІДХОДІВ  
ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», Російська  
Федерація, Донецька Народна Республіка, м. о. Макіївський, м. Макіївка

**Анотація.** У роботі було виконано вивчення впливу отриманих в процесі анаеробної ферментації біологічних добрив на врожайність сільськогосподарських культур. В процесі роботи експериментальної биогазової установки отримані біологічні добрива, на підставі яких були проведені лабораторні аналізи. Результати експерименту показали, що в ємностях контролю основна кількість перших паростків з'явилося через 2–3-ю добу. Кількість пророслих насіння в контролі в середньому 65,5 %, в кількості від 8 до 18 штук, в ємностях з внесеною «рідкої органікою» кількість пророслих насіння тільки 36,6 %, в кількості від 6 до 11 штук зійшли насіння, в ємностях з внесеним рідким біодобривом кількість пророслих насіння в середньому склало 87,8 %, в кількості від 11 до 18 штук. Щільність паростків в дослідних ємностях з внесеним рідким біодобривом значно вище (в середньому 2,499), ніж в ємностях з внесеною «рідкої органікою» (в середньому 0,579) і контролі (в середньому 1,300).

**Ключові слова:** сільськогосподарські відходи, переробка, биогазова установка, біологічні добрива.

VLADIMIR MITYAKIN, VITALY RADIONENKO  
ON THE EXPERIENCE OF USING A BIOGAS PLANT FOR PROCESSING  
AGRICULTURAL WASTE ANNOTATION  
FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian  
Federation, Makeevka

**Abstract.** In the work, the influence of biological fertilizers obtained in the process of anaerobic fermentation on crop yields was studied. During the operation of the experimental biogas plant, biological fertilizers were obtained, on the basis of which laboratory analyses were performed. The results of the experiment showed that the majority of the first sprouts appeared in the control tanks after 2–3 days. The number of germinated seeds in the control averaged 65,5 %, in the amount of 8 to 18 pieces, in containers with introduced «Liquid organic matter», the number of germinated seeds was only 36,6 %, in the amount of 6 to 11 pieces of



germinated seeds, in containers with introduced liquid biofertilizer, the number of germinated seeds averaged 87,8 %, in the amount of from 11 to 18 pieces. The density of sprouts in experimental tanks with introduced liquid biofertilizer is significantly higher (on average 2,499) than in tanks with introduced «Liquid organic matter» (on average 0,579) and control (on average 1,300).

**Keywords:** agricultural waste, processing, biogas plant, biological fertilizers.

**Митякин Владимир Александрович** – магистрант 2 курса кафедры техносферной безопасности ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: переработка, утилизация, рециклинг сельскохозяйственных отходов.

**Радионенко Виталий Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры техносферной безопасности ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: переработка и повторное использование промышленных отходов.

**Мітякін Володимир Олександрович** – магістрант 2 курсу кафедри техносферної безпеки ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: переробка, переробка, рециклінг сільськогосподарських відходів.

**Радіоненко Віталій Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри техносферної безпеки ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: переробка і повторне використання промислових відходів.

**Mityakin Vladimir** – 2nd year master's degree student, Technosphere Safety Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: processing, utilization, recycling of agricultural waste.

**Radionenko Vitaly** – Ph. D. (Eng), Associate Professor, Technosphere Safety Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: recycling and reuse of industrial waste.

EDN: VMXKFI

УДК 504.054:628.4.045:620:266.11

**А. Э. ЦВЕТОВА, В. Н. РАДИОНЕНКО, С. Е. ГУЛЬКО**ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевский, г. Макеевка

## **К ВОПРОСУ О РАЦИОНАЛЬНОМ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОДЗЕМНЫХ ПРОСТРАНСТВ ЛИКВИДИРУЕМЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ГОРНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Аннотация.** Статья рассматривает вопрос использования подземного пространства закрытых шахт для различных целей, таких как хранение отходов, создание геотермальных электростанций, а также в качестве потенциального места для строительства новых городов и инфраструктуры. Рассмотрены успешные примеры зарубежных стран, таких как Германия, Великобритания, Нидерланды и Польша. Повторное использование заброшенных шахт является важным аспектом практики более чистого производства, поскольку оно может полностью задействовать потенциал и жизнеспособность неиспользуемых ресурсов, сэкономить социальные издержки, обеспечить мощную эндогенную движущую силу для преобразования ресурсоемких городов, предоставить возможности трудоустройства безработным и, наконец, осуществить экологически чистую трансформацию горнодобывающей промышленности. Научные решения о способах повторного использования являются необходимым условием и решающим вопросом для эффективного изучения неиспользуемых ресурсов закрытых шахт.

**Ключевые слова:** угольные шахты, ресурс, вторичное использование, горнодобывающая промышленность, отходы.

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Непосредственное закрытие или отказ от угольных шахт является огромной тратой ресурсов и всегда влечет за собой ряд проблем с безопасностью или охраной окружающей среды [1]. Техногенные факторы, возникающие в результате ликвидации действующих шахт, как показал опыт, оказывают разрушительное воздействие практически на все компоненты окружающей среды, в результате чего она почти полностью теряет способность к самовосстановлению. Наиболее ярко выражены: подтопление поверхности, загрязнение поверхностных и подземных вод, выделение шахтных газов на поверхность, переток воды на смежные действующие шахты, геомеханическое воздействие на поверхность, образование провалов. Повторное использование выработанного пространства угольной шахты сможет решить в полной мере экологические и геологические проблемы.

### **ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ**

Причиной ликвидации шахт служат такие факторы, как истощение запасов полезных ископаемых; проблемы с безопасностью: если в шахте происходят серьезные аварии или повышается риск их возникновения, она может быть закрыта для обеспечения безопасности работников и окружающей среды; экологические проблемы: загрязнение окружающей среды, нарушение гидрологического режима и другие экологические проблемы могут привести к ликвидации горнодобывающего предприятия; экономические факторы: если экономика страны или региона меняется и спрос на добываемые в шахте ресурсы падает, шахта может стать неконкурентоспособной и быть закрытой.

В Донбассе насчитывается порядка 114 закрытых шахт, находящихся в стадии консервации или ликвидации. При таких больших объемах незадействованного пространства, остающегося после ликвидации, возникает вопрос об вторичном его использовании. На рисунке показано количество



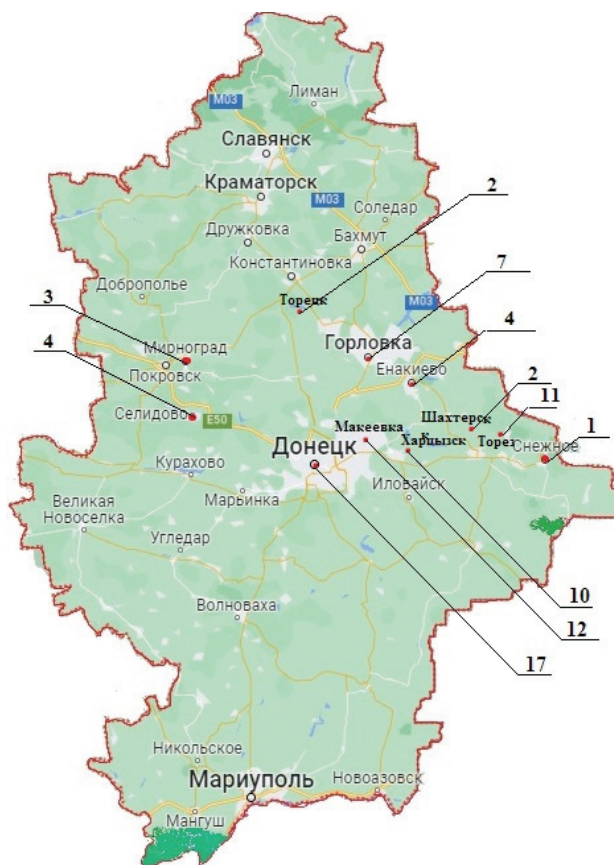


Рисунок – Количество закрытых шахт по городам республики.

закрытых шахт в таких городах, как Донецк, Макеевка, Горловка, Торез, Снежное, Енакиево, Харьцызск, Торецк, Мирноград, Селидово.

Существует несколько перспективных направлений повторного использования подземного пространства угольных шахт находящихся в консервации:

- хранилища и склады;
- добыча метана;
- геотермальные электростанции;
- создание промышленных музеев или туристических объектов;
- размещение продуктов термического обезвреживания твердых коммунальных отходов (ТКО).

Ученые из Ноттингема (Британия) предлагают выведенные из эксплуатации угольные шахты переоборудовать в вертикальные фермы, то есть перенос привычных теплиц под землю. Концепция получила название «Глубинной фермы», на таких объектах можно выращивать изрядные объемы продуктов питания, обеспечивая экономию на всем: воде, земле, энергии и времени обслуживания грядок. Проект изучает выращивание сельскохозяйственных культур на подземных фермах с помощью гидропонных сеялок, которые питают корни растений водой, обогащенной питательными веществами, поскольку цветные светодиодные блоки обеспечивают фотосинтез без воздействия солнца. Эксперты утверждают, что грунтовые воды для установок можно использовать напрямую или воду можно конденсировать из окружающего воздуха [1]. Городская агломерация Рурштадт в Германии является ярким примером преобразования заброшенных шахтерских районов в промышленные музеи. В том же городе разработали концепцию гидроаккумулирующей станции, где предполагается, что такая электростанция позволит хранить электрическую энергию во внепиковые периоды потребляемых мощностей [2, 3].

Страны Европы, такие как Бельгия, Германия, Нидерланды имеют богатый опыт повторного использования закрытых угольных шахт. За последние 20 лет было предпринято множество исследовательских и коммерческих инициатив по освоению заброшенных угольных месторождений с целью использования низкотемпературных ресурсов [4]. Одним из наиболее успешных является

проект Minewater муниципалитета Херлен, Нидерланды, где в октябре 2008 года была введена в эксплуатацию низкотемпературная система централизованного теплоснабжения. Простая экспериментальная система для исследования того, как шахтная вода заброшенных угольных шахт Оранже-Нассау может быть использована в качестве геотермального источника для устойчивого низкоэнергетического отопления и охлаждения зданий.

Донецкая Народная Республика особое внимание уделяет проработке решения проблем в области ликвидации и переработки мусора. В развитых странах ТКО подвергаются переработке на мусоросжигательных заводах (МСЗ) или на предприятиях по их пиролизу. В перспективе создание мусоросжигательных заводов в ДНР станет одним из ключевых способов решения проблемы управления и утилизации отходов. Однако, после сжигания ТКО остается до 30 % по весу шлаков и 5 % зольного остатка, который благополучно вывозят на полигоны. В качестве решения проблемы золошлаковых отходов от МСЗ предлагается размещать их в выработанном пространстве угольных шахт [5, 6]. Такой опыт имеется в Германии, там такие отходы преобразуют в пасту, которая изливается за очистным забоем на почву выработанного пространства и застывает благодаря добавляемому отвердителю. Данная суспензия может быть использована для [7]:

- герметизации проходов обрушения;
- ликвидации горных выработок;
- заполнения старых пустот в массиве горных пород;
- изготовления поясов обратной засыпки и заглушек;
- ликвидации шахтных стволов;
- в качестве компонента самозатвердевающей обратной засыпки и в технологиях, связанных с предотвращением пожаров.

Также следует учитывать множество факторов использования закрытых шахт в том или ином районе. Первый фактор – это преимущество в ресурсах, которое является основой для развития и использования. Например, добыча метана, утилизация шахтных вод, добыча бокситов. Вторым фактором является географическое расположение закрывающихся угольных шахт. Например, закрытая угольная шахта строится как центр культурного туризма, коммерческий центр, учебно-практический центр. Третий фактор – это социальные потребности, такие как закрытие угольных шахт для строительства гидроаккумулирующих электростанций. Кроме того, важны также топографические факторы. Например, хранение угольной породы подходит только для равнинных районов добычи полезных ископаемых. Иногда может потребоваться учитывать несколько факторов. Например, при использовании запасов нефти и газа необходимо одновременно учитывать ресурсные условия и преимущества расположения шахты. Это связано с тем, что хранилища нефти и газа должны находиться близко как к производственным районам, так и к потребительским рынкам, то есть быть богатыми газом и находиться близко к городской периферии.

## ВЫВОДЫ

На основе приведенной выше информации, можно сделать вывод о многообразии способов рационального использования подземного пространства закрытых угольных шахт, от которых можно получать экономическую выгоду, позволяющую минимизировать затраты на ликвидацию предприятий и предотвратить негативные последствия, связанные с безопасностью и охраной окружающей среды.

Особое внимание в условиях развития новых регионов Российской Федерации заслуживает использование пустот ликвидированных предприятий горной промышленности для размещения отходов мусоросжигательных заводов. Наличие завода актуально как для новых территорий, так и для соседних областей (Ростовская область, Краснодарский край), в которых отсутствуют иные варианты обращения с ТКО, кроме захоронения их на полигонах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Birkby, Jeff. Vertical Farming / Jeff Birkby // ATTRA Sustainable Agriculture Program. – Текст: электронный : [сайт]. – 2016. – Volume 615. – P. 12–16. – URL: <https://attra.ncat.org/publication/vertical-farming/> (дата обращения: 08.09.2023).
2. Keil, A. Ues and perception of post-industrial urban landscapes in the ruhr. In Wind Urban Woodlands / A. Keil. – Текст : электронный // Springer : [сайт]. – Berlin : Wild Urban Woodlands, 2005. – P. 117–130. – URL: [https://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-26859-6\\_7](https://link.springer.com/chapter/10.1007/3-540-26859-6_7) (дата обращения: 08.09.2023).

3. Papadakis, C. Nikolaos. Review of Pumped Hydro Storage Systems / C. Nikolaos Papadakis, Marios Fafalakis, Dimitris Katsaprakakis. – Текст : электронный // *Energies*. – 2023. – Volume 16. – P. 1–30. – URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/11/4516> (дата обращения: 08.09.2023).
4. Watzlaf, G. R. Underground Mine Water for Heating and Cooling using Geothermal Heat Pump Systems / G. R. Watzlaf, T. E. Ackman. – Текст : электронный // *Mine Water and the Environment*. – 2015. – Volume 25. – P. 1–14. – URL: <https://doi.org/10.1007/s10230-006-0103-9> (дата обращения: 08.09.2023).
5. Арустамов, Э. А. Основные проблемы обращения и переработки отходов / Э. А. Арустамов, С. Р. Гильденский, Г. В. Гераскина. – Текст : электронный // *Добродеевские чтения : I Международная научно-практическая конференция, Москва, 12–13 октября 2017 года*. – Москва : Московский государственный областной университет, 2017. – С. 97–99. – URL: <https://elibrary.ru/ykyiny?ysclid=ln33v70zpk375126902> (дата обращения: 08.09.2023). – EDN: YKYINY.
6. Проскурникова, И. А. Анализ деятельности мусоросжигательного завода на примере спецзавода № 2 / И. А. Проскурникова, С. М. Попов. – Текст : электронный // *Научный вестник МГТУ*. – 2011. – № 7 (16). – С. 118–125. – URL: <https://elibrary.ru/nxzhct?ysclid=ln342u9bpv132583513> (дата обращения: 08.09.2023). – EDN: NXZHCT.
7. Backfilling technology and strata behaviors in fully mechanized coal mining working face / Q. Zhang, J. Zhang, Y. Huang [et al.]. – Текст : электронный // *International Journal of Mining Science and Technology*. – 2012. – Volume 22, Issue 2. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2095268612000389> (дата обращения: 08.09.2023).

Получена 15.09.2023

Принята 27.10.2023

А. Е. ЦВЕТОВА, В. М. РАДИОНЕНКО, С. Е. ГУЛЬКО  
ДО ПИТАННЯ ПРО РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ ПІДЗЕМНИХ  
ПРОСТОРІВ ЛІКВІДОВАНИХ ПІДПРИЄМСТВ ГІРНИЧОЇ  
ПРОМИСЛОВОСТІ

ФДБО ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», Російська  
Федерація, Донецька Народна Республіка, м. о. Макіївський, м. Макіївка

**Анотація.** Стаття розглядає питання використання підземного простору закритих шахт для різних цілей, таких як зберігання відходів, створення геотермальних електростанцій, а також в якості потенційного місця для будівництва нових міст та інфраструктури. Розглянуто успішні приклади зарубіжних країн, таких як Німеччина, Великобританія, Нідерланди та Польща. Повторне використання покинутих шахт є важливим аспектом практики більш чистого виробництва, оскільки воно може повністю задіяти потенціал і життєздатність невикористовуваних ресурсів, заощадити соціальні витрати, забезпечити потужну ендегенну рушійну силу для перетворення ресурсомістких міст, надати можливості працевлаштування безробітним і, нарешті, здійснити екологічно чисту трансформацію гірничодобувної промисловості. Наукові рішення щодо способів повторного використання є необхідною умовою та вирішальним питанням для ефективного вивчення невикористаних ресурсів закритих шахт.

**Ключові слова:** вугільні шахти, ресурс, вторинне використання, гірничодобувна промисловість, відходи.

ARINA TSVETOVA, VITALY RADIONENKO, SERGEY GULKO  
ON THE ISSUE OF RATIONAL USE OF UNDERGROUND SPACES OF  
LIQUIDATED MINING ENTERPRISES

FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian  
Federation, Makeevka

**Abstract.** The article considers the use of the underground space of closed mines for various purposes, such as waste storage, the creation of geothermal power plants, as well as as a potential place for the construction of new cities and infrastructure. Successful examples of foreign countries such as Germany, Great Britain, the Netherlands and Poland are considered. The reuse of abandoned mines is an important aspect of cleaner production practices, as it can fully exploit the potential and viability of unused resources, save social costs, provide a powerful endogenous driving force for the transformation of resource-intensive cities, provide employment opportunities for the unemployed and, finally, implement an environmentally friendly transformation of the mining industry. Scientific decisions on ways of reuse are a necessary condition and a crucial issue for the effective study of unused resources of closed mines.

**Keywords:** coal mines, resource, secondary use, mining industry, waste.

**Цветова Арина Эдуардовна** – магистрант 1 курса кафедры техносферной безопасности ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: переработка и утилизация промышленных отходов.

**Радионенко Виталий Николаевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры техносферной безопасности ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: переработка и повторное использование промышленных отходов.

**Гулько Сергей Евгеньевич** – доктор технических наук, профессор кафедры техносферной безопасности ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: переработка и повторное использование промышленных отходов.

**Цветова Арина Едуардовна** – магистрант 1 курсу кафедри техносферної безпеки ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: переробка та утилізація промислових відходів.

**Радіоненко Віталій Миколайович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри техносферної безпеки ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: переробка і повторне використання промислових відходів.

**Гулько Сергій Євгенович** – доктор технічних наук, професор кафедри техносферної безпеки ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: переробка і повторне використання промислових відходів.

**Tsvetova Arina** – 1st year master's degree student, Technosphere Safety Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: processing and utilization of industrial.

**Radionenko Vitaly** – Ph. D. (Eng), Associate Professor, Technosphere Safety Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: recycling and reuse of industrial waste.

**Gulko Sergey** – Dr. Sc. (Eng), Associate Professor, Technosphere Safety Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: recycling and reuse of industrial waste.

EDN: WOKSSF

УДК 504.064.4

**Т. С. БАШЕВАЯ<sup>а</sup>, Н. Н. БЕЛОУС<sup>б</sup>**<sup>а</sup> ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевский, г. Макеевка;<sup>б</sup> Государственный комитет по экологической политике и природным ресурсам при Главе Донецкой Народной  
Республики, Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. Донецк

## КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ НАКОПЛЕНИЯ ТВЕРДЫХ КОММУНАЛЬНЫХ ОТХОДОВ

**Аннотация.** В статье изучается один из аспектов важной экологической проблемы накопления твердых коммунальных отходов. В работе установлены истоки проблемы отходов и показаны причины резкого повышения актуальности данной экологической проблемы в последние годы. Обоснована разница между показателями образования и накопления ТКО и сформулированы основные пути для минимизации количества отходов. Изучены социальный и экологический аспекты проблемы ТКО. Проанализирована ситуация обращения с ТКО в ДНР: ежегодный прирост количества коммунальных отходов составляет 625 тыс. тонн/год. Существующая система сбора отходов не отвечает современным требованиям, в виду низкого уровня механизации объектов коммунального хозяйства; вследствие значительного физического и морального износа основных фондов, недостаточности специализированных транспортных средств. Изучено состояние и условия функционирования специально отведенных мест и объектов размещения отходов. Определены факторы, формирующие проблему накопления твердых коммунальных отходов в Донецком регионе.

**Ключевые слова:** твердые коммунальные отходы, накопление отходов, полигон, охрана окружающей среды, обращение с отходами, сортировка.

### ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Природа является первоисточником удовлетворения материальных и духовных потребностей людей, а также является средой обитания человека, жизнедеятельность которого сопровождается постоянным потреблением воздуха, воды, пищи, сырьевых ресурсов и образованием отходов. История отходов неотделима от пути, проделанного людьми и цивилизациями. На разных этапах развития человеческой цивилизации отношение к отходам было различным: в доисторические времена загромождение отходами жилища становилось поводом для поиска нового места жительства; оседлый образ жизни подтолкнул граждан к мысли переложить проблему отходов на природу и представителей городской власти; эпоха индустриализации многократно увеличила количество отходов и усложнила их морфологический состав. При этом население стало беззаботнее относиться к отходам, обновляя одежду и интерьер по требованию моды [1]. С ростом благосостояния населения повышались требования к качеству жизни и состоянию окружающей среды. В конце 20 века обработка отходов выделяется в самостоятельный сектор производственной индустрии. Проблемой коммунальных отходов начинают заниматься ученые и государственные деятели. В 21 веке проблема отходов вышла на лидирующие позиции среди иных экологических и государственных проблем. По данным экологов Гринпис в 2010 году в РФ образовалось 48 млн тонн твердых коммунальных отходов в год, а в 2021 году – 65 млн тонн/год. Если такие темпы генерации сохранятся, то в 2050 году ожидается образование 108 млн тонн ТКО в год. При этом 90 % всех ТКО вывозится в места захоронения отходов (полигоны, свалки) и происходит их накопление [1]. При смешивании различных компонентов ТКО на этапе размещения (полезных с бесполезными, токсичных с безопасными, горючих с негорючими) получатся экологически опасная смесь, не подлежащая сортировке, которая горит с выделением вредных летучих компонентов в случае утилизации.

© Т. С. Башева, Н. Н. Белоус, 2023



## ЦЕЛЬ

Определение и анализ причин экологической проблемы накопления твердых коммунальных отходов в Донецком регионе.

## АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Проблемой образования и последующего накопления коммунальных отходов занимаются такие ученые как Г. Я. Дрозд, А. И. Сердюк, И. А. Соломин, М. Ш. Орлов, А. А. Курочкина, А. А. Чалганова, Н. Н. Слюсарь, В. Г. Ларионов, и многие другие. В поиске решения проблемы накопленных коммунальных отходов учеными были рассмотрены вопросы правового регулирования в области рекультивации (консервации) земель и ликвидации накопленного вреда окружающей среде [2, 3, 4]; предложены технические, технологические решения, используемые при ликвидации объектов накопленного вреда окружающей среде [5, 6]; изучены вопросы загрязнения экотоксикантами прилегающих к полигонам ТКО почв [7]; разработаны инновационные технологии переработки ТКО или их отдельных компонентов [8, 9, 10].

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Человек не может жить, не оставляя после себя твердые коммунальные отходы (ТКО). Причиной образования отходов является преимущественно хозяйственная деятельность человека в следствии которой нарушены сложные взаимосвязи между компонентами биосферы в рамках круговорота химических элементов и обмена энергией. Общее уравнение баланса в сфере производства товаров выглядит следующим образом:

$$R \rightarrow O(1 - S_o) + B, \quad (1)$$

где  $R$  – использование природных ресурсов, кг/с;  
 $O$  – количество отходов, образующееся в сферах производства и потребления, кг/с;  
 $S_o$  – средний коэффициент использования отходов, кг/кг;  
 $B$  – количество веществ, накапливающихся в сферах производства, кг/с.

Из уравнения баланса (1) следует, что образование отходов при осуществлении человеческой деятельности неизбежно. И показатели образования отходов не всегда являются признаком наличия экологической проблемы. Например, наибольшие в Мире удельные показатели образования коммунальных отходов на человека в Исландии – 4,3 кг/день, США – 2,2 кг/день; Швеции – 2,0 кг/день; Израиле – 1,8 кг/день [11], но эти страны не входят в «черные списки» как территории с экологическими проблемами загрязнения территорий отходами. Для сравнения, по данным Всемирного банка, в среднем один житель планеты Земля производит 0,75 кг отходов в день, а гражданин РФ – 1,1 кг/день. Следовательно, экологической проблемой являются объемы и темпы накопления отходов на территории государства. И, как показывает уравнение баланса (1), при сохранении или увеличении темпов производства и использования природных ресурсов без повышения коэффициента использования отходов ( $S_o$ ) снижение удельного неиспользуемого количества отходов невозможно.

Проблема коммунальных отходов не новая. Как говорилось ранее, отходы во все времена сопровождали жизнь и деятельность человека. Практически до 1960-ых годов большую часть бытовых отходов вывозили за пределы города и сжигали на открытых площадках. Со временем свалки мусора стали образовываться в природных карьерах, заболоченных низинах, создавая эпидемиологически опасные зоны с высоким риском загрязнения атмосферы, почв, поверхностных и подземных вод. Для решения экологической проблемы отходов и минимизации ущерба для окружающей среды в XX-ом веке был осуществлен переход от стихийного создания свалок к проектированию и реализации специальных объектов для захоронения бытовых отходов – полигонов. Полигон – это комплекс природоохранных сооружений, предназначенных для складирования, изоляции и обезвреживания твердых коммунальных отходов, обеспечивающий защиту от загрязнения атмосферы, почвы, поверхностных и грунтовых вод, препятствующий распространению грызунов, насекомых и болезнетворных микроорганизмов. Таким способом на несколько десятков лет была решена, или, как показывает современная ситуация, отложена проблема накопленных ТКО.

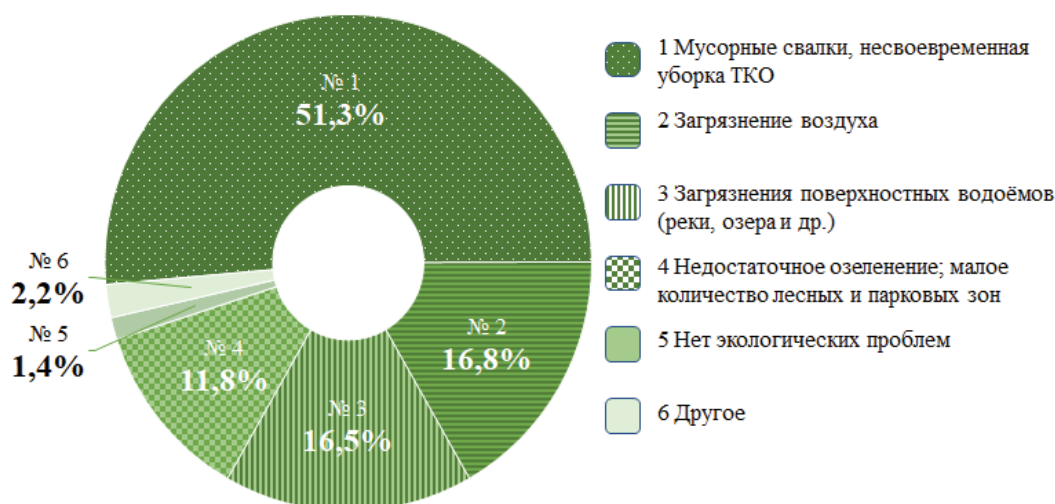
С ростом благосостояния населения, улучшением уровня жизни в 21 веке увеличились требования к состоянию окружающей среды, что в полной мере соответствует пирамиде человеческих потребностей Маслоу: на определенном этапе начинают проявляться эстетические потребности. Население активно начало выражать недовольство организацией сбора и вывоза коммунальных отходов, а также



состоянием мест их хранения и захоронения. С другой стороны, стремительный рост населения планеты (на 1 января 2022 года количество населения на планете составляет 7,95 млрд человек) при неизменности размеров территорий пригодных для проживания, а также огромные объёмы уже накопленных отходов вывели проблему накопления отходов в лидеры мировых экологических проблем: по прогнозам департамента Всемирного банка по вопросам городского и территориального развития, управления риском стихийных бедствий к 2050 году объем образующихся в мире отходов почти удвоится и достигнет ошеломляющего уровня – 3,76 миллиарда тонн в год.

В проблеме образования и накопления твердых коммунальных отходов следует выделить два аспекта: социальный (коммунальный) и экологический.

Граждан страны и представителей государственной власти волнует, в большей степени, именно социальный аспект проблемы суть которого сводится к неправильной организации сбора ТКО, недостаточности автопарка для вывоза отходов, наличию несанкционированных мест накопления коммунальных отходов, нарушениям в правилах эксплуатации специально отведенных мест и объектов размещения отходов (СОМОРО), что приводит к загрязнению почвы, водных объектов, возникновению неприятных запахов, увеличению грызунов и насекомых. Данный факт подтверждается результатами проведенного нами социологического опроса жителей региона о наиболее актуальных экологических проблемах характерных для городов Донбасса (рисунок).



**Рисунок** – Наиболее актуальные экологические проблемы в городах ДНР по мнению граждан.

На территории ДНР определены 502,7 тыс. источников образования ТКО, из которых на долю домашних хозяйств приходится 96 %. Также источниками образования коммунальных отходов являются учебные и научные учреждения, организации культурно-бытового назначения, производственные предприятия и предприятия работающие в сфере оказания услуг. Ежегодный прирост количества ТКО по данным Госкомэкополитики при Главе ДНР в регионе составляет 625 тыс. тонн/год.

В Донецкой Народной Республике функционирует унитарная система сбора ТКО: отходы всех видов собираются в общую емкость с последующим вывозом на места размещения отходов. Метод сбора и удаления при этой системе плано-подворный. При этом методе жители выгружают отходы в несменяемые или сменные металлические контейнеры, установленные на специальных площадках для накопления (временного хранения) до транспортировки их в СОМОРО. В частном секторе преимущественно используются «поведерная» система сбора ТКО (жители выставляют мусор в своей таре или выносят непосредственно в машину).

Существующая система сбора отходов не отвечает современным требованиям, в виду низкого уровня механизации объектов коммунального хозяйства; вследствие значительного физического и морального износа основных фондов, недостаточности специализированных транспортных средств. Также актуальной проблемой является недостаточность контейнерного парка на территориях административных единиц Донецкой Народной Республики. Общее количество контейнеров составляет 19 038 единиц, из которых, в течение 3-х лет требует обновления 59 % контейнеров. Более 1 000 единиц

контейнеров не хватает для эффективного сбора ТКО. Количество контейнерных площадок составляет 3 444 единицы, из которых благоустроены 1 249 площадок, что составляет 36 % от общего количества.

Уровень и качество сбора ТКО зависит от наличия (обеспеченности) мусороуборочной техники и ее технического состояния. Нормативная обеспеченность городов специализированными машинами для вывоза отходов принимается из расчета 20 мусоровозов на 100 тыс. жителей. Для полноценного охвата услугами в сфере обращения (сбора и транспортировки к местам размещения) с ТКО необходимо 480 мусоровозов объемом 7,5 м<sup>3</sup> и коэффициентом сжатия 1,5. Фактически на территории Республики услуги по сбору и транспортировке ТКО осуществляют 275 мусоровозов, из которых 95 единиц требуют ремонта. В настоящее время имеет место применение более высокотехнологичной современной техники с объемом кузова до 22 м<sup>3</sup> и коэффициентом сжатия 5, которая позволяет вывозить за 1 рейс до 100 м<sup>3</sup> коммунальных отходов.

Система раздельного сбора или сортировки ТКО на сегодняшний день в ДНР отсутствует. Исключением является несанкционированный сбор отдельных видов отходов (металлическая тара, стеклотара, бумага и картон, ПЭТ-бутылки) как вторичного сырья частными лицами с целью получения дохода от дальнейшей их сдачи в приемные пункты вторсырья. Около 80 % всей металлической тары и половина бумажных и картонных отходов, попадающих в контейнеры, изымается этой категорией лиц и попадает на пункты сбора вторсырья.

При реализации существующей системы сбора ТКО от жилого сектора, от предприятий и организаций транспортируются для размещения на полигонах ТКО и свалках. На территории Донецкой Народной Республики находится 1 полигон промышленных отходов (ПО) и 29 полигонов твердых коммунальных отходов, из которых 7 закрыты и не эксплуатируются. Общая площадь земельных участков, занятая под полигоны ТКО и ПО, составляет 259,9 га, из них под 24 действующими полигонами ТКО и ПО – 212,9 га.

Средний показатель заполнения полигонов в Республике составляет 63,6 %, что на первый взгляд, может показаться не критичным. Однако детальное изучение каждого полигона показало, что степень заполненности полигонов отходами колеблется от отметки от 12 до 103 %. Переполнены или находятся на уровне предельного заполнения полигоны населенных пунктов Ждановка (103 %, переполнен), Харцызск (99,1 %, заполнен), Амвросиевка (93,4 % заполнен), Кировское (92,1 % заполнен), Енакиево (96,8 %, заполнен), Шахтерск (74,4 %), Донецк (КАП «Санитарная очистка Петровского района г. Донецка» – 71,5 %), полигон ПО ООО «Социальное Возрождение Донбасса плюс» в Ясиноватском районе (93,7 %, прекращает работу в связи с отсутствием правоустанавливающих документов на земельный участок), полигон ПО п. Ларино ООО «Биосфера Донецка» в г. Донецк (78,5 %). Сложная ситуация с заполнением полигонов в Дебальцево (70,04 %), Горловке (63,5 %), Торезе (65,12 %), пгт. Новый Свет (63,5 %) и Ясиноватой (61,8 %). На сегодняшний день благоприятная ситуация с заполнением полигонов остается лишь в населенных пунктах Зугрэс, Иловайск и Старобешевское, полигоны которых заполнены на 12...35 % от проектной мощности.

Состояние всех полигонов ТКО, расположенных на территории Донецкой Народной Республики, не соответствует современным требованиям организации и эксплуатации полигонов (СП 320.1325800.2017), что связано с давностью начала их строительства и эксплуатации. Несоответствие нынешнего состояния полигонов действующим требованиям по их организации и эксплуатации выражается в отсутствии: проектов строительства (более 95 %), весового оборудования (95,65 %), противотрационных экранов (100 %), ограждений и обваловки (100 %), нагорных канав (97 %), дренажных систем сбора и обеззараживания фильтрата (100 %), наблюдательных скважин (100 %), регулярного проведения мероприятий по пожарной безопасности, предохранительных мероприятий против распространения неприятных запахов, инфекционных микроорганизмов, вредных насекомых и грызунов. Также следует отметить факты несоблюдения СЗЗ полигонов (500 м), недостоверной информации о накопленных ранее ТКО и ПО, отсутствия геологической и топографической съемок мест удаления отходов. К недостаткам в работе полигонов расположенных на территории ДНР следует отнести отсутствие системы сортировки и переработки поступающих на размещение отходов.

Экологический аспект проблемы накопления коммунальных отходов более сложный и включает в себя ряд дополнительных к ранее озвученным проблемных вопросов:

– изъятие земель из хозяйственного оборота для строительства и эксплуатации полигонов и свалок. Следует отметить, что в ДНР преобладают черноземы обыкновенные и, при правильной агротехнике, на данных территориях можно получать высокие урожаи. Поэтому выведение из сельскохозяйственного оборота земельных участков необходимо свести к минимуму;

- изъятие земель для размещения объектов временного накопления, сортировки, обработки и рециклинга твердых коммунальных отходов;
- образование газообразных, жидких и твердых загрязнителей на этапах сортировки, переработки и повторного использования ТКО. Например, в результате сжигания ТКО получается твердый остаток (зола) и газообразные вещества, представляющие еще большую опасность с экологической точки зрения. Для снижения вредных выбросов на современных мусоросжигательных заводах применяются многоступенчатые системы газоочистки, стоимость которых, как правило, превышает стоимость основного оборудования [13].
- загрязнение атмосферного воздуха при сжигании топлива во время транспортирования отходов от места их сбора до мест переработки или захоронения. Среднее расстояние вывоза ТКО по России составляет 20 км, в городах с населением 500 тыс. жителей и более оно возрастает до 45...60 км. По статистике, дальность вывоза отходов ежегодно возрастает в среднем на 1,5 км [14], что увеличивает эмиссию загрязняющих веществ и себестоимость их транспортировки на 15...20 %.

## ВЫВОДЫ

О величине экологической проблемы твердых коммунальных отходов в городе, регионе или стране целесообразно судить не по количеству образующихся отходов, а по количеству накопленных отходов и состоянию мест их накопления и захоронения.

Решение социальной проблемы коммунальных отходов можно свести к решению двух задач: во-первых, правильная организация контейнерных площадок и своевременный вывоз ТКО; и, во-вторых, высокоэффективное функционирование полигонов ТКО с соблюдением всех требований природоохранного законодательства.

Экологическая проблема накопления коммунальных отходов будет стремиться к минимуму при условии максимального снижения темпов образования отходов в единицу времени. Одним из способов достижения этого уровня, может быть, строительство мусороперерабатывающих комплексов, основанных на сортировке отходов, в следствии чего на полигонах будут размещаться только «хвосты» ТКО, а это 5% от общего числа образовавшихся отходов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Обращение с твердыми коммунальными отходами: Россия на фоне мира / С. М. Говорушко, С. Лазарев, В. И. Петухов [и др.]. – DOI: 10.36698/2304-5957-2021-2-4-31. – Текст : электронный // Астраханский вестник экологического образования. – 2021. – № 2(62). – С. 4–31. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_45606351\\_64965646.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_45606351_64965646.pdf) (дата обращения: 14.08.2023). – Режим доступа для зарегистр. пользователей. – EDN: APNGEZ.
2. Елизарова, И. А. Некоторые вопросы правового регулирования в области рекультивации (консервации) земель и ликвидации накопленного вреда окружающей среде / И. А. Елизарова, Е. В. Зырянова. – DOI: 10.36698/2304-5957-2021-6-101-107. – Текст : электронный // Астраханский вестник экологического образования. – 2021. – Том 20, № 6(66). – С. 101–107. – URL: [https://www.cnsbh.ru/Vexhib/vex\\_news/2022/vex\\_220604/04099680.pdf](https://www.cnsbh.ru/Vexhib/vex_news/2022/vex_220604/04099680.pdf) (дата обращения: 21.08.2023). – EDN: HUDUAS.
3. Дубовик, Д. М. Объекты накопленного вреда: к вопросу о несанкционированных свалках / Д. М. Дубовик. – DOI: 10.34076/2410\_2709\_2022\_3\_93. – Текст : электронный // Российское право: образование, практика, наука. – 2022. – № 3. – С. 93–99. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obekty-nakoplennogo-vreda-k-voprosu-onesanktsionirovannyh-svalkah/viewer> (дата обращения: 31.08.2023). – EDN: PORAYJ.
4. Кабацкая, Л. Н. Зарубежный опыт правового регулирования ликвидации накопленного вреда окружающей среде / Л. Н. Кабацкая. – DOI: 10.12737/jfld.2020.005. – Текст : электронный // Журнал зарубежного законодательства и сравнительного правоведения. – 2020. – № 1(80). – С. 114–128. – URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_42685771\\_83858010.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_42685771_83858010.pdf) (дата обращения: 11.09.2023). – Режим доступа для зарегистр. пользователей. – EDN: MSSHYR.
5. Аналитический обзор типовых технологических решений, применяемых при ликвидации объектов накопленного вреда окружающей среде / Е. А. Пичугин, М. С. Дьяков, Е. В. Зырянова [и др.]. – DOI: 10.36698/2304-5957-2022-5-20-32. – Текст : электронный // Астраханский вестник экологического образования. – 2022. – № 5(71). – С. 20–32. – URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_49595361\\_59896829.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_49595361_59896829.pdf) (дата обращения: 12.09.2023). – Режим доступа для зарегистр. пользователей. – EDN: JOODKS.
6. Патент № 2396131. С1 Российская Федерация, МПК В09В 1/00. Изолирующая смесь для полигонов твердых бытовых отходов, способ ее получения и способ захоронения твердых бытовых отходов : № 2009125021/03 : заявл. 01.07.2009 : опубл. 10.08.2010 / А. Г. Прохоров ; заявитель Общество с ограниченной ответственностью «ТрансЭкопром». – URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_37702597\\_95863320.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_37702597_95863320.pdf) (дата обращения: 15.09.2023). – Режим доступа для зарегистр. пользователей. – Текст : электронный. – EDN JSNXVX.

7. Аревкин, Ю. А. Прогноз загрязнения геологической среды в зонах свалок твердых бытовых отходов (на примере полигона «Тимохово») : специальность 25.00.08 «Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение» : диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук / Аревкин Юрий Александрович. – Москва, 2002. – 150 с. – Текст : непосредственный.
8. Шилова, Ю. О. Оценка содержания тяжелых металлов в почве и растениях на территории полигона твердых бытовых отходов / Ю. О. Шилова, С. Е. Витковская. – Текст : электронный // Метеорологический вестник. – 2017. – Том 9, № 2. – С. 262–265. – URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_29411790\\_39162881.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_29411790_39162881.pdf) (дата обращения: 15.09.2023). – Режим доступа для зарегистр. пользователей. – EDN: YTQVBQX.
9. Соломин, И. А. Состав и свойства твердых коммунальных отходов, учитываемые при выборе технических методов обращения с отходами / И. А. Соломин, В. И. Афанасьева. – Текст : электронный // Природообустройство. – 2017. – № 3. – С. 82–90. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_29444345\\_27396523.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_29444345_27396523.pdf) (дата обращения: 15.09.2023). – Режим доступа для зарегистр. пользователей. – EDN: YUIPGV.
10. Золотарев, Г. М. Инновационная технология обращения с твердыми коммунальными отходами / Г. М. Золотарев. – Текст : непосредственный // Экологический вестник России. – 2015. – № 10. – С. 25–31.
11. Башева, Т. С. Анализ подходов к решению проблемы твердых коммунальных отходов / Т. С. Башева – Текст : электронный // Вестник Донбасской академии строительства и архитектуры. – 2022. – Выпуск 2022-5(157) Инженерные системы и техногенная безопасность. – С. 62–67. – URL: [http://donnasa.org/publish\\_house/journals/vestnik/2022/2022-5\(157\)/st\\_09\\_bashevaya.pdf](http://donnasa.org/publish_house/journals/vestnik/2022/2022-5(157)/st_09_bashevaya.pdf) (дата публикации: 21.11.2022). – EDN: KBCCHP.
12. Галаюра, В. С. Управление в сфере обращения с твердыми коммунальными отходами: современное состояние / В. С. Галаюра, Ю. И. Лисина, Д. В. Рябова. – Текст : электронный // The World of Science Without Borders : сборник трудов конференции, 11 февраля 2022 года. – С. 53–57. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=mk-siso> (дата обращения: 15.10.2023). – EDN: MKSISO.
13. Пиролитические методы термической переработки твердых коммунальных отходов / В. В. Хасхачих, О. М. Ларина, Г. А. Сычев [и др.]. – DOI :10.31857/S0040364421030078. – Текст : электронный // Теплофизика высоких температур. – 2021. – Том 59, № 3. – С. 467–480. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_46171970\\_70846078.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_46171970_70846078.pdf) (дата обращения: 15.09.2023). Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – EDN: SLMLRZ.
14. Борисова, О. Н. Раздельный сбор – элемент системы жизнеобеспечения подотрасли ЖКХ / О. Н. Борисова, А. С. Проничева. // Современные проблемы туризма и сервиса : сборник статей научных докладов по итогам Всероссийской научно-практической конференции, Черкизово, 25 апреля 2019 года / под редакцией О. Е. Афанасьева, Е. В. Юдиной. – Черкизово : Российский государственный университет туризма и сервиса, 2019. – С. 49–57. – URL: [https://elibrary.ru/download/elibrary\\_38714366\\_95017373.pdf](https://elibrary.ru/download/elibrary_38714366_95017373.pdf) (дата обращения: 11.09.2023). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – EDN: JVZFZO.

Получена 28.09.2023

Принята 27.10.2023

Т. С. БАШЕВА <sup>a</sup>, Н. М. БІЛОУС <sup>b</sup>

## КОМПЛЕКСНИЙ АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ТВЕРДИХ КОМУНАЛЬНИХ ВІДХОДІВ

<sup>a</sup> ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», Російська Федерація, Донецька Народна Республіка, м. о. Макіївський, м. Макіївка; <sup>b</sup> Державний комітет з екологічної політики та природних ресурсів при Главі Донецької Народної Республіки, Російська Федерація, м. Донецьк

**Анотація.** У статті вивчається один з аспектів важливої екологічної проблеми накоплення твердих комунальних відходів. В роботі встановлені витоки проблеми відходів і показані причини різкого підвищення актуальності даної екологічної проблеми в останні роки. Обґрунтовано різницю між показниками утворення та накоплення ТКО та сформульовано основні шляхи для мінімізації кількості відходів. Вивчено соціальний та екологічний аспекти проблеми ТКО. Проаналізовано ситуацію поводження з ТКО в ДНР: щорічне збільшення кількості комунальних відходів становить 625 тис. тон / рік. Існуюча система збору відходів не відповідає сучасним вимогам, з причини низького рівня механізації об'єктів комунального господарства; внаслідок значного фізичного і морального зносу основних фондів, недостатності спеціалізованих транспортних засобів. Вивчено стан та умови функціонування спеціально відведених місць та об'єктів розміщення відходів. Визначено фактори, що формують проблему накоплення твердих комунальних відходів у Донецькому регіоні.

**Ключові слова:** тверді комунальні відходи, накоплення відходів, полігон, охорона навколишнього середовища, поводження з відходами, сортування.

TATIANA BASHEVAYA <sup>a</sup>, NATALIA BELOUS <sup>b</sup>  
A COMPREHENSIVE ANALYSIS OF THE PROBLEM THAT IS DEVOTED TO  
THE ACCUMULATION OF SOLID MUNICIPAL WASTE

<sup>a</sup> FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian Federation, Makeevka; <sup>b</sup> The State Committee for Environmental Policy and Natural Resources under the Head of the Donetsk People's Republic, Russian Federation, Donetsk

**Abstract.** The article studied one of the aspects of an important environmental problem of solid municipal waste accumulation. The paper identifies the origins of the waste problem, and also shows the reasons for the sharp increase in the relevance of this environmental problem in recent years. The difference between the values of waste generation and accumulation of MSW is shown here, and the main ways that will help reduce the amount of waste are formulated. The aspects of the MSW problem are studied: social and environmental. The situation of handling MSW in the DPR is analyzed the annual increase in the amount of municipal waste is 625 thousand tons/year. The existing waste collection system does not meet modern requirements, due to the low level of mechanization of municipal facilities; as well as due to significant physical and moral depreciation of fixed assets, and there is also an insufficient number of specialized vehicles. The condition and conditions of functioning of specially designated places and waste disposal facilities have been studied. The factors that form the problem of accumulation of solid municipal waste in the Donetsk region are identified.

**Keywords:** solid municipal waste, waste accumulation, landfill, environmental protection, waste management, sorting.

**Башевая Татьяна Сергеевна** – кандидат технических наук, доцент; заведующая кафедрой техносферной безопасности ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: управление отходами и технологии рециклинга как методы обеспечения экологической безопасности и устойчивого развития; повышение экологической безопасности в строительстве и коммунальном хозяйстве.

**Белоус Наталья Николаевна** – заместитель начальника отдела регуляторной деятельности государственного комитета по экологической политике и природным ресурсам при Главе Донецкой Народной Республики. Научные интересы: комплексный подход при осуществлении деятельности по накоплению, сбору, транспортированию, обработке, утилизации, обезвреживанию и размещению ТКО; ликвидация объектов накопленного вреда в ДНР.

**Башева Тетяна Сергіївна** – кандидат технічних наук, доцент; завідувач кафедри техносферної безпеки ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: управління відходами та технології рециклінгу як методи забезпечення екологічної безпеки і сталого розвитку; підвищення екологічної безпеки в будівництві і комунальному господарстві.

**Білоус Наталя Миколаївна** – заступник начальника відділу регуляторної діяльності Державного комітету з екологічної політики та природним ресурсам при Главі Донецької Народної Республіки. Наукові інтереси: комплексний підхід при здійсненні діяльності з накопичення, збору, транспортування, обробки, утилізації, знешкодження та розміщення ТКВ; ліквідація об'єктів накопиченої шкоди у ДНР.

**Bashevaya Tatiana** – Ph. D. (Eng.), Professor, Head of Technosphere Safety Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: waste management and recycling technologies as methods of ensuring environmental safety and sustainable development; improving environmental safety in construction and municipal services.

**Belous Natalia** – Deputy Head of the Regulatory Activities Department of the State Committee for Environmental Policy and Natural Resources under the Head of the Donetsk People's Republic. Scientific interests: an integrated approach in the implementation of activities for the accumulation, collection, transportation, processing, disposal, neutralization and placement of MSW; liquidation of objects of accumulated harm in the DPR.

EDN: **WQYRBK**

УДК 628.477

**Я. О. БЕЛЕЦКИЙ, А. И. СЕРДЮК**ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевский, г. Макеевка

## РАЦИОНАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ

**Аннотация.** В работе рассмотрены популярные методы переработки пластмасс, пластиковые отходы являются трудно перерабатываемыми твердыми коммунальными отходами, так как для качественной переработки их необходимо очищать и перерабатывать только чистый пластик. Общее количество пластиковых отходов на полигонах твердых коммунально-бытовых отходов по данным РБК составляет более 55 %, это в первую очередь различные упаковки от товаров общего пользования, пластиковые бутылки, различные пластмассовые корпуса. Популярными методами борьбы с отходами пластика являются пиролиз (сжигание отходов) и грануляции пластмасс. Пиролиз требует дополнительной очистки газо-воздушной смеси после сжигания пластмасс. Метод грануляции пластиковых отходов более дорогой и экологически выгодный метод, так как полученные в результате гранулы пластика можно использовать в производстве других продуктов и вещей из пластика.

**Ключевые слова:** пластик, пластмасс, переработка, утилизация, отходы пластмасс.

### ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Мы не представляем свою жизнь сегодня без пластиковых упаковок, бутылок, пакетов и пластиковых корпусов и других вещей которые изготовлены из пластика. По разным источникам на сегодняшний день пластиковая продукция по данным РБК составляет более 55 %, объёма всех бытовых отходов. И это не удивительно. Раньше на прилавках магазинов товары были в бумажных упаковках и стеклянной таре. Теперь же эти товары мы видим в современных красочных упаковках, т. е. пластиковых бутылках, пленке и различных пакетах, также корпуса для большинства оборудования не металлические как было раньше, а пластиковые. Во всем мире проблема пластиковых отходов как источника антропогенного загрязнения окружающей природной среды приобрела чрезвычайную актуальность. В нашей стране слабо развит метод переработки таких отходов. Они, как и основная часть отходов жизнедеятельности человека (90...95 %), свозятся на мусорные полигоны и свалки, где будут веками отравлять землю, воду и воздух. И это не считая несанкционированных свалок, окружающих наши города.

Первый пластик был синтезирован в 1855 году английским химиком А. Парксом. Но практическое применение этот материал получил только в начале XX века. Современное человечество использует огромное количество различных пластмасс. Большинство из них синтезируется из нефти. Они не похожи ни на один из природных материалов и являются продуктом, изобретенных человеком технологий.

### ЦЕЛИ

В работе рассмотрены перспективные методы утилизации пластиковых отходов и выбран экологически выгодный способ переработки для отходов пластмасс.

Развитие технического прогресса и увеличение численности населения привело к лавинообразному увеличению отходов. Статистика показывает, что ежегодно в мире образуется несколько миллиардов тонн только бытовых отходов. На каждого городского жителя нашей планеты, приходится от 500 до 800 кг отходов в год [1]. Около 95 % продукции, которую мы покупаем, оказывается на свалке в течение полу года. Ежегодно в мире на свалках оказывается более 200 млрд пластиковых бутылок,



58 млрд одноразовых стаканчиков и миллиарды полиэтиленовых пакетов. И это не считая тех отходов, в состав которых этот материал входит частично [2].

К самым распространенным отходам пластика относят: полиэтилентерефталат, поливинилхлорид, полипропилен, полиэтилен, полистирол и поликарбонат.

### ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Виды пластмасс могут различаться химическим составом, жесткостью, жирностью. Но всё же главной особенностью является поведение материала при нагревании. Исходя из данного критерия, существуют следующие виды пластмассы: термопласты – плавятся при нагреве, при охлаждении принимают первоначальную форму; реактопласты – вид пластмассы, обладающий высокоэластичными свойствами; эластомеры – в процессе нагрева переходят в нерастворимое твердое состояние.

Уровень развития общества можно оценить по способу утилизации отходов. Однако важно помнить не только о сложности технологического процесса, но и о степени его влияния на окружающую среду. В век пластмасс переработка пластика – это еще один виток в эволюции человечества [3].

Специфика переработки пластиковых отходов связана с двумя основными причинами:

1) разнообразный и сложный химический состав (полиэтилентерефталат, полистирол, поливинилхлорид, полифенил, полипропилен и т. п.);

2) продолжительный период распада (до 100 лет, а в некоторых случаях – до 500 лет).

Перспектива пластиковых отходов, без переработки – утилизация на полигонах, объемы которых неограничены. В связи с этим, переработка пластика – одна из самых актуальных проблем для современного общества.

Между тем, пластиковые отходы представляют собой ценное сырье как для самих изделий из пластмассы, так и различных синтетических материалов. И это становится поводом для поиска методов и способов переработки отходов пластика, которые будут экономически выгодны и экологически безопасны для человека и окружающей среды [4].

Рассмотрим переработку пластика в России. Специализируясь на переработке органических отходов, компания IPES выделила метод термической деструкции пластмассовых отходов без доступа атмосферного кислорода (метод пиролиза), как наиболее приемлемый и перспективный для России метод утилизации [5–6]. В тоже время стоит отметить, что и в Европе он эффективно применяется и совершенствуется. Установка для пиролиза представлена на рисунке 1.

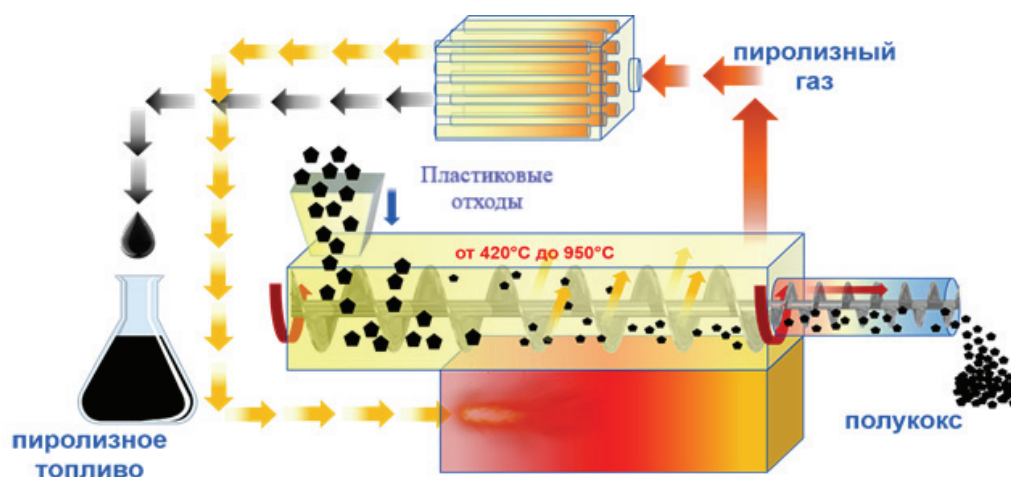


Рисунок 1 – Пиролизная установка для переработки пластика.

1. Метод пиролиза отвечает нормам и требованиям безопасности обращения с отходами принятым в Европе.

2. Установки термической деструкции универсальны в плане возможности утилизации органических отходов всех видов.

3. Метод является экономически выгодным, т.к. переработка пластика дает ценное топливное сырье, которое подлежит дальнейшему использованию и, соответственно, реализации.

Таким образом, пиролиз является компромиссом между энергоэффективным и относительно экологически чистым способом переработки отходов пластика. Это послужило основанием для организации ИРЕС собственного производства установок термической деструкции.

#### *Способы переработки пластиковых отходов*

Задача утилизации заключается в получении вторичного сырья, пригодного для дальнейшего использования.

Любые действия по переработке пластиковых отходов должны выполняться согласно установленным санитарным нормам и правилам.

Основные этапы обработки пластмассы:

- организация сбора материала;
- распределение изделий по цвету и качеству;
- прессование;
- процесс переработки;
- производство готовой продукции.

Сначала сырье, бывшее в употреблении, сортируют по отдельности, в зависимости от цвета и качества материала. Изделия отбирают вручную, отделяя от них грязь и другие компоненты.

Основой для полиэтиленовой продукции является материал, получаемый из нефти, поэтому разработка новых технологий получения вторсырья – одно из направлений утилизации продукта.

Основные методы переработки пластиковых отходов:

- сжигание;
- гранулирование;
- пиролиз;
- утилизация пластиковых отходов в домашних условиях.

**Сжигание отходов.** Сжигание материала, в результате которого высвобождается большое количество тепловой энергии. Это самый недорогой и распространенный способ утилизации полиэтилена. Тепло используют для обогрева зданий или нагрева холодной воды. Стоит отметить, что любое сжигание сопровождается выделением в атмосферу дополнительных загрязняющих веществ. Поэтому для того чтобы заняться сжиганием, следует в обязательном порядке получить разрешительные документы.

**Гранулирование.** Гранулирование – переработка пластика механическим способом, в результате которого получают гранулы или чистые хлопья. Их используют для производства новых изделий, содержащих пластик:

- различные емкости;
- строительные виды покрытий;
- утеплители и многое другое.

Процесс гранулирования довольно сложен и требует значительных финансовых затрат по сравнению с предыдущим методом. Используется такой способ переработки пластиковых отходов только при больших объемах производства, включающий в себя:

- сортировку товара;
- грубую чистку пластиковых отходов;
- предварительное дробление;
- мытье и упаковку;
- вывоз пластика на последующую переработку.

Ситуация с переработкой пластика в России отличается от зарубежных стран. К примеру, европейские производители пластиковой тары и упаковки платят специальный налог, в котором уже учтена сумма, требующаяся для сортировки и утилизации произведенной продукции. А некоторые автоконцерны используют переработанный пластик для изготовления внутренних частей дверей и бамперов автотранспорта.

К сожалению, у нас еще не развита культура сортировки и переработки мусора, что несколько затрудняет организацию предприятий по переработке данного вида отходов, но определенные шаги в этом направлении уже видны [7–8].

Выделяют несколько методов переработки пластиковых отходов:

- расщепление с помощью метанола, это термический способ;
- расщепление под действием экстремальных температур и давления – гидролиз, в результате чего в оборот возвращаются химические продукты высокого качества;



- деструкция в условиях высокой температуры, давления с присутствием этиленгликоля и катализатора до получения чистого продукта;
- термическое разложение вещества в присутствии кислорода, либо без него – пиролиз.
- механическое измельчение, как при нормальной, так и при низкой температуре, после чего пластик промывается, сушится и после определенной обработки превращается в гранулы, которые подлежат дальнейшему использованию;

Метанолиз – обработка метиловым спиртом.

Гидролиз – разложение исходного вещества при взаимодействии веществ с водой с образованием новых соединений.

Гликолиз – растворение при нагревании в присутствии катализатора.

Пиролиз – термическое разложение органических и многих неорганических соединений.

Пиролиз пластика

Данный способ переработки позволяет получить не один, а сразу несколько ликвидных продуктов переработки, подлежащих последующей реализации.

Кроме того, при пиролизе пластика образуется горючий газ (оксид углерода и водород), который используется для поддержания работы оборудования, что снижает затраты на энергию. А также, одно из самых главных преимуществ: для пиролиза не нужна глубокая сортировка пластика, так как все его виды перерабатываются полностью.

Одной из перспектив переработки пластиковых отходов это превращение их в другие вещи. На перерабатывающем заводе с бутылок снимают крышки, удаляют этикетки. Тару сортируют по цвету. Обычно это коричневый, зеленый, голубой, натуральный (бесцветный). Бутылки моют, прессуют, измельчают и обрабатывают паром.

В результате получают полимерные гранулы (рисунок 2) – сырье пригодное для производства новых товаров.



Рисунок 2 – Получившиеся полимерные гранулы.

Метод грануляции пластмасс. Технологии достаточно просты и не сильно затратны финансово. Выгоднее всего перерабатывать производственный брак и отходы, которые не подвергались интенсивной эксплуатации. Более сложным является производство «вторички» из рассортированного пластика. Здесь основной сложностью будет его качественная очистка от примесей. Использование в качестве исходного сырья несортированного и сильно загрязненного мусора часто оказывается очень затруднительным.

Переработка пластика производится двумя основными способами:

1. Простое дробление отходов дает возможность его использования в качестве добавки к первичному сырью при производстве продукции.

2. Дробление с последующим изготовлением гранулята, который можно применять для изготовления товаров.

После такой переработки полученные гранулы можно использовать в зависимости от отходов, из которых они были сделаны. Примеры использования гранул пластика:

1. ПВД – полиэтилен высокого давления, изготавливают: упаковочные пленки, подносы и лотки; пробки для стеклянных бутылок; детские игрушки; пластиковая тара, кровельных материалов; полимерно-песчаных стройматериалов; труб-каналов для кабеля, водостоков и вентиляции; изделий медицинского назначения.

2. ПЭТ – полиэтилентерефталат, изготавливают: бутылки технического и бытового назначения; различная тара для продуктов питания; косметических средств; химии; кровельные материалы; упаковочный шпагат и лента. Кроме гранул ПЭТ перерабатывается в хлопья и технические волокна.

3. Полистирол – изготавливают: канцелярские товары; бытовые приборы; оборудование различного назначения; светотехнические изделия; строительные материалы для утепления и облицовки.

4. Вторичный полипропилен – вторичный полипропилен имеет очень разнообразную сферу применения: полуфабрикаты и профили; поддоны и подставки; легкая мебель; конструкции теплиц; трубы; детали оборудования; одноразовые шприцы; садовый инвентарь; хозяйственные принадлежности – ведра, тазики, горшки для цветов; упаковочная лента, пленка, пакеты, тканые мешки.

5. Поликарбонат – тепличных конструкций; навесов, заборов; перегородок в помещениях; кухонных принадлежностей; комплектующих для мебели; медицинских товаров, очков; в приборостроении при производстве деталей для точных приборов [9].

## ВЫВОДЫ

Подводя итог переработки пластиковых отходов можно сказать, что лучшим методом является переработка пластика в грануляцию. Не смотря на сложность использования метода получения грануляции из пластиковых отходов, этот метод экологически выгоден, по сравнению с пиролизом, где выделяется большое количество загрязнений в воздух. Дым, который образуется при сжигании пластмасс необходимо очищать предварительно перед выпуском его в атмосферу. Из полимерных гранул можно получить большое количество полезных изделий, которые используются постоянно в повседневной жизни. Так же пластмассовую грануляцию применяют в строительстве автомобильных дорог добавляя ее в асфальтобетонную смесь.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фроленок, В. В. Как спасти планету от пластика или первый шаг в ответственное развитие / В. В. Фроленок. – Текст : непосредственный // Бизнес-образование в экономике знаний. – 2018. – № 2. – С. 76–79.
2. Огаркова, И. Н. Большое Тихоокеанское мусорное пятно / И. Н. Огаркова, В. Г. Шведов. – Текст : непосредственный // Вестник Приамурского государственного университета. – 2017. – № 3(28) – С. 67–70.
3. Recycling of plastic waste: Screening for brominated flame retardants (BFRs) / K. Pivnenko, K. Granby, E. Eriksson [et al.]. – Текст : электронный // Waste Management. – 2017. – Volume 69. – P. 101–109. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/319378940\\_Recycling\\_of\\_plastic\\_waste\\_Screening\\_for\\_brominated\\_flame\\_retardants\\_BFRs](https://www.researchgate.net/publication/319378940_Recycling_of_plastic_waste_Screening_for_brominated_flame_retardants_BFRs) (дата обращения: 11.09.2023).
4. Исследование свойств синтетических и биоразлагаемых полимеров, с целью возможности их использования в пищевой промышленности / О. В. Ершова, Э. Р. Муллина, Ю. А. Бессонова [и др.]. – DOI: 10.18503/1995-2732-2021-19-4-56-63. – Текст : электронный // Вестник ВГУИТ. – 2022. – Том 84, № 1. – С. 245–251. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/357410135\\_Comparative\\_Analysis\\_of\\_Physical\\_and\\_Mechanical\\_Properties\\_of\\_Biodegradable\\_and\\_Synthetic\\_Polymers](https://www.researchgate.net/publication/357410135_Comparative_Analysis_of_Physical_and_Mechanical_Properties_of_Biodegradable_and_Synthetic_Polymers) (дата обращения: 11.09.2023).
5. Chemical and biological catalysis for plastics recycling and upcycling / L. D. Ellis, N. A. Rorrer, K. P. Sullivan [et al.]. – <https://doi.org/10.1038/s41929-021-00648-4>. – Текст : электронный // Nature Catalysis. – 2021. – Volume 4. – P. 539–556. – URL: <https://www.nature.com/articles/s41929-021-00648-4#citeas> (дата обращения: 11.09.2023).
6. Потапова, Е. В. Проблема утилизации пластиковых отходов / Е. П. Потапова. – Текст: электронный // Известия Байкальского государственного университета. – 2018. – Том 28, № 4. – С. 535–544. – URL: [https://www.researchgate.net/publication/336772971\\_The\\_Issue\\_of\\_Plastic\\_Waste\\_Utilization](https://www.researchgate.net/publication/336772971_The_Issue_of_Plastic_Waste_Utilization) (дата обращения: 09.10.2023).
7. Shamsuyeva, M. Plastics in the context of the circular economy and sustainable plastics recycling: Comprehensive review on research development, standardization and market / M. Shamsuyeva, H. Endres. – <https://doi.org/10.1016/j.jcomc.2021.100168>. – Текст : электронный // Composites Part C: Open Access. – 2021. – Volume 6. – 100168. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666682021000633> (дата обращения: 11.09.2023).
8. Капранов, С. В. К вопросу создания в населённых пунктах оптимальных систем сбора и утилизации бытовых полимерных отходов / С. В. Капранов, В. В. Калужный. – Текст : непосредственный // Наука побеждает болезни : материалы III Международного форума Донбасса, Донецк, 14–15 ноября 2019. – Донецк : Медуниверситет им. М. Горького, 2019. – С. 200.

9. Технология производства вторичных гранул пластика: переработка полимеров и описание метода грануляции. – Текст : электронный // Rcycle.net. Все о переработке вторсырья и утилизации отходов : [сайт]. – 2015–2023. – URL: <https://rcycle.net/plastmassy/tehnologiya-proizvodstva-vtorichnyh-granul-plastika/> (дата обращения: 11.09.2023).

Получена 20.09.2023

Принята 27.10.2023

Я. О. БІЛЕЦЬКИЙ, О. І. СЕРДЮК  
РАЦІОНАЛЬНІ МЕТОДИ ПЕРЕРОБКИ ПЛАСТИКОВИХ ВІДХОДІВ  
ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», Російська  
Федерація, Донецька Народна Республіка, м. о. Макіївський, м. Макіївка

**Анотація.** У роботі розглянуті популярні методи переробки пластмас, пластикові відходи є твердими комунальними відходами, що важко переробляються, так як для якісної переробки їх необхідно очищати і переробляти тільки чистий пластик. Загальна кількість пластикових відходів на полігонах твердих комунально-побутових відходів за даними РБК становить понад 55 %, це в першу чергу різноманітні упаковки від товарів загального користування, пластикові пляшки, різні пластмасові корпуси. Популярними методами боротьби з відходами пластику є піроліз (спалювання відходів) та грануляції пластмас. Піроліз вимагає додаткового очищення газоповітряної суміші після спалювання пластмас. Метод грануляції пластикових відходів дорожчий та екологічно вигідний метод, оскільки отримані в результаті гранули пластику можна використовувати у виробництві інших продуктів та речей із пластику.

**Ключові слова:** пластик, пластмас, переробка, утилізація, відходи пластмас.

YAROSLAV BELETSKY, ALEXANDER SERDYUK  
RATIONAL METHODS FOR RECYCLING PLASTIC WASTE  
FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian  
Federation, Makeevka

**Abstract.** The work discusses popular methods of processing plastics; plastic waste is difficult to recycle solid municipal waste, since for high-quality recycling it is necessary to clean it and process only clean plastic. According to RBC, the total amount of plastic waste in municipal solid waste landfills is more than 55 %, this is primarily various packaging from general goods, plastic bottles, and various plastic cases. Popular methods of dealing with plastic waste are pyrolysis (incineration of waste) and plastic granulation. Pyrolysis requires additional purification of the gas-air mixture after burning plastics. The plastic waste granulation method is a more expensive and environmentally beneficial method, since the resulting plastic granules can be used in the production of other plastic products and things.

**Keywords:** plastic, plastics, processing, recycling, plastic waste.

**Белецкий Ярослав Олегович** – аспирант кафедры техносферой безопасности ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: методы переработки твердых коммунально-бытовых отходов, повышение экологической безопасности при переработке отходов производства и потребления.

**Сердюк Александр Иванович** – доктор химических наук, профессор кафедры техносферой безопасности ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: способы и методы утилизации источников бесперебойного питания, экологизация современной молодежи.

**Білецький Ярослав Олегович** – аспірант кафедри техносферної безпеки ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: методи переробки твердих комунально-побутових відходів, підвищення екологічної безпеки під час переробки відходів виробництва та споживання.

**Сердюк Олександр Іванович** – доктор хімічних наук, професор кафедри техносферної безпеки ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: способи та методи утилізації джерел безперебійного харчування, екологізація сучасної молоді.

**Beletsky Yaroslav** – a post-graduate student, Technosphere Safety Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: methods of processing solid municipal waste, increasing environmental safety when processing industrial and consumer waste.

**Serdyuk Alexander** – D. Sc. (Chemical), Professor, Technosphere Safety Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: methods and methods of disposal of uninterruptible power supplies, greening modern youth.

EDN: **WGAKUM**

УДК 628.3.03

**В. С. РОЖКОВ, П. Г. БЕРЁЗА, А. В. ВАЩУК**ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевский, г. Макеевка

## **ВЛИЯНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СОСТАВ ГОРОДСКИХ СТОЧНЫХ ВОД**

**Аннотация.** В статье рассмотрены недостатки существующего подхода к прогнозированию и расчету концентраций загрязняющих веществ, поступающих от населенных пунктов на сооружения биологической очистки сточных вод. На основании проведенного анализа предложены теоретические и экспериментальные механизмы учета всех возможных факторов, оказывающих влияние на состав сточных вод, поступающих на канализационные очистные сооружения. Для учета поступления поверхностных сточных вод в систему канализации предложено использовать зависимости известного вида с уточнением коэффициентов, зависящих от местных условий. Установлено, что использование бытовых измельчителей оказывает существенное влияние на состав сточных вод, поступающих на биологическую очистку, что предоставляет дополнительные возможности по балансировке качественного состава стока. Для перспективного и эффективного контроля поступления промышленных сточных вод в системы городской канализации предложен оперативный метод измерения окислительно-восстановительного потенциала среды в точках (постах) сброса производственного стока.

**Ключевые слова:** сточные воды, поверхностные воды, промышленный сток, бытовые измельчители, окислительно-восстановительный потенциал.

### **ВВЕДЕНИЕ**

Сточные воды населенных пунктов являются источником загрязнений природных водоемов, которые в настоящее время претерпевают значительные изменения по качеству воды за счет протекания ускоренной эвтрофикации [1, 2]. Высокое качество очистки сточных вод позволит предотвратить негативные процессы в природных водоемах. На эффективность обработки сточных вод оказывает значительное влияние исходный состав стоков, поступающих на сооружения биологической очистки.

### **АКТУАЛЬНОСТЬ ЗАДАЧИ**

Большинство (до 70 %) действующих канализационных очистных сооружений (КОС) не соответствуют современным требованиям по удалению органических загрязнений, соединений азота и фосфора [3]. В то же время, вновь строящиеся и реконструируемые КОС рассчитываются на некий усредненный состав поступающих сточных вод. Это приводит к не корректным проектным показателям сооружений биологической очистки, что часто выливается в завышение либо занижение объемов КОС [4]. В настоящее время при отсутствии фактических показателей стока, расчет ведется нормативам сброса загрязнений с одного жителя с учетом нормы водоотведения. Такой подход не учитывает ряд сопутствующих факторов, которые проанализированы в данной работе.

### **ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ**

В зависимости от способа транспортировки поверхностных сточных вод на территории населенных пунктов применяют общесплавную, раздельную, неполную раздельную или полураздельную системы водоотведения. Состав сточных, поступающих на очистные сооружения в значительной мере зависит от существующей либо проектируемой схемы системы канализации. Даже при расчете полной раздельной системы канализации, действующие нормативы [5] указывают на необходимость

© В. С. Рожков, П. Г. Берёза, А. В. Ващук, 2023



учета дополнительного притока поверхностных и грунтовых вод, неорганизованно поступающего в самотечные сети канализации через люки колодцев и за счет инфильтрации грунтовых вод. То есть, неорганизованные притоки учитываются только при гидравлическом расчете канализационных коллекторов. Влияние этих процессов на разбавление и изменение состава сточных вод при проектировании очистных сооружений нормативной документацией не учитывается. В то же время, фактическая работа сооружений городской канализации в РФ, даже при полной раздельной схеме, не исключает массовое поступление дополнительных стоков промышленного, атмосферного и дренажного происхождения [6].

Поступление неорганизованного притока в систему городской канализации сильно зависит от времени года и интенсивности выпавших осадков. Дни максимального притока в городскую канализацию – это всегда дни затяжных дождей или интенсивного снеготаяния [3]. При среднегодовой величине неорганизованного дополнительного притока, составляющей обычно до 10 % от общего поступления сточных вод в систему городской канализации, его доля в периоды продолжительных интенсивных дождей возрастает до 25...40 % [6]. Вышеперечисленное является одним из факторов, приводящих к несоответствию состава сточных вод системам очистки и ведущих к невыполнению нормативов работы очистных сооружений [7, 8].

Основную массу веществ, присутствующих в сточных водах, составляют органические соединения и биогенные элементы. В сточной воде присутствуют сотни отдельных веществ, большая часть которых идентифицируется как белки, жиры, углеводы и растворенные вещества. Среди факторов, определяющих состав сточных вод, поступающих на очистку, можно выделить:

- поступление поверхностных сточных вод в систему канализации;
- степень благоустройства жилого фонда поселений;
- величина удельного водопотребления (норма водопотребления);
- состав и количество производственных сточных вод;
- интенсивность инфильтрационных процессов в трубопроводы канализации.

Учет каждого из приведенных факторов позволит более точно спрогнозировать качественный состав сточных вод, поступающих на очистные сооружения городской канализации. Это позволит рассчитывать технологические режимы работы КОС как при проектировании, так и при эксплуатации действующих станций.

Для учета фактора поступления поверхностных сточных вод в систему канализации, для города Санкт-Петербурга авторами [9] предложена зависимость вида:

$$\frac{Q_{\text{сум}}}{Q_{\text{сух}}} = \left( \frac{h_a}{h_1} \right)^{n_d}, \quad (1)$$

где  $Q_{\text{сум}}$  – суточный расход смеси хозяйственно-бытовых и инфильтрованных поверхностных стоков в дождь, м<sup>3</sup>/сут;  
 $Q_{\text{сух}}$  – суточный расход сточных вод, поступающих на очистку в сухую погоду, м<sup>3</sup>/сут;  
 $h_a$  – слой осадков, мм/сут;  
 $h_1$  – осадки, не образующие стока (для г. Санкт-Петербурга ~1 мм/сут), мм/сут;  
 $n_d$  – безразмерный показатель степени, который предлагается определять по формуле:

$$n_d = A - B \cdot \lg q_{\text{ср}}, \quad (2)$$

где  $q_{\text{ср}}$  – средний расход сточных вод в сухой период, л/с;  
 $A$  и  $B$  – эмпирические коэффициенты, от схемы канализации (общесплавная, раздельная) и местных условий.

В работе [9] определены коэффициенты  $A$  и  $B$  для общесплавной и раздельной канализации для условий г. Санкт-Петербург. Очевидно, что местные условия других населенных пунктов будут требовать обоснования собственных значений эмпирических коэффициентов в уравнении 2. Следует отметить, что предложенная методика также учитывает фактор инфильтрационных процессов в трубопроводы канализации.

Влияние степени благоустройства жилого фонда населенных пунктов (исключая вопросы, связанные с нормированием) заключается в возможном применении бытовых измельчителей у потребителя [10]. Это влияние, согласно существующим исследованиям [11], заключается в увеличении БПК<sub>полн</sub> поступающих сточных вод на величину от 17 до 62 % и содержания взвешенных веществ на

1,9...7,1 %. Дополнительные расходы воды на работу бытовых измельчителей при этом возрастают на величину до 2,2 %, что не является значительным увеличением в контексте работы системы канализации. При этом содержание биогенных элементов также претерпевает изменения: общий азот в сточных водах увеличивается на 12...16 %, а содержание фосфора не изменяется [11]. Это объясняется наличием органического азота в продуктах переработки бытовых измельчителей. Согласно литературным источникам [10, 11], прирост активного ила на сооружениях биологической очистки, в случае массового применения бытовых измельчителей, увеличивается на 57...62 %.

Таким образом, использование бытовых измельчителей оказывает существенное влияние на состав сточных вод, поступающих на биологическую очистку. Это предоставляет дополнительные возможности по балансировке качественного состава стока на уровне степени благоустройства жилого фонда.

Фактор величины удельного водопотребления оказывает значительное влияние на качество образующихся стоков. За счет различной степени разбавления технологически нормируемых загрязнений (взвешенные вещества, БПК, ХПК, соединения азота и фосфора) при разной норме водопотребления их концентрации могут варьироваться в пределах 20 % от некоторой усредненной нормы.

Это связано с тем, что количество загрязнений от одного жителя в общем случае согласно [3] остается неизменным. Указанное количество загрязнений и концентрации для различных норм водопотребления приведено в таблице.

**Таблица** – Удельное количество загрязняющих веществ, поступающих от одного жителя, и концентрация в сточной жидкости

Показатель	Количество загрязняющих веществ на одного жителя, г/сут	Концентрация загрязнений в сточной воде, г/м <sup>3</sup> при норме водоотведения:		
		70	120	180
Взвешенные вещества	65,00	928,6	541,7	361,1
БПК <sub>5</sub> неосветленной жидкости	60,00	857,1	500,0	333,3
Азот общий	13,00	185,7	108,3	72,2
Азот аммонийных солей	10,5	150,0	87,5	58,3
Фосфор общий	2,5	35,7	20,8	13,9
Фосфор фосфатов P-PO <sub>4</sub>	1,5	21,4	12,5	8,3

В таблице расчеты выполнены исходя из норм расхода воды для различных типов водопотребителей жилого фонда согласно действующего СП 30.13330.2020. Концентрации загрязняющих веществ в сточных водах, в зависимости от нормы водопотребления, могут колебаться в значительных пределах, что нужно учитывать при прогнозировании состава стока на входе в очистные сооружения.

Промышленные предприятия, сбрасывающие сточные воды в канализационные системы населенных пунктов, оказывают значительное влияние на состав стоков, поступающих на КОС. В этом случае сточные воды могут содержать специфические загрязнения, не характерные для хозяйственно-бытового стока [12]. В распространенной практике работы систем водоотведения, предприятия ВКХ устанавливают нормативы максимально допустимых концентраций для сброса сточных вод в сети хозяйственно-бытовой канализации [3]. Данные нормативы не учитывают необходимые для биологической очистки соотношения органических веществ и биогенных элементов (БПК:N:P), что также может вести к разбалансировке работы КОС. Основным аспектом приема промышленного стока на городские очистные сооружения, на наш взгляд, является его прогнозируемость.

Большую проблему представляют несанкционированные сбросы от промышленных предприятий: как в части не учитываемых расходов жидкости, так и превышенных концентраций загрязнений [13]. Этот вопрос усложняется длительностью и трудоемкостью классического анализа состава стока, либо дороговизной оперативного контроля. Упростить контроль такого рода можно за счет оперативного измерения окислительно-восстановительного потенциала сточных вод в точках (постах) сброса производственного стока. С учетом разнообразия и особенностей технологических циклов предприятий, состав сточных вод также весьма разнообразен и характеризуется различными значениями ОВП (Eh) [14]. В случае резких колебаний Eh, это может указать предприятию ВКХ и контролирующим органам на факте санкционированного сброса таких вод в систему канализации. При этом следует учитывать возможное поступление поверхностных вод в соответствии с формулами 1–2.

## ВЫВОДЫ

1. Существующий подход к прогнозированию и расчету концентраций загрязняющих веществ, поступающих от населенных пунктов на сооружения биологической очистки сточных вод, является не совершенным, поскольку не учитывает ряд факторов: естественных и антропогенных.

2. На основании проведенного анализа предложены теоретические и экспериментальные механизмы учета всех возможных факторов, оказывающих влияние на состав сточных вод, поступающих на канализационные очистные сооружения.

3. Перспективным и эффективным методом контроля поступления промышленных сточных вод в системы городской канализации может стать оперативный контроль окислительно-восстановительного потенциала среды в точках (постах) сброса производственного стока.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Smith, V. H. Eutrophication science: Where do we go from here? / V. H. Smith, D. W. Schindler. – Текст : непосредственный // Trends Ecol. Evol. – 2009. – Volume 24. – P. 201–207.
2. Васильева, М. В. Влияние сточных вод на водные объекты в Воронежской области / М. В. Васильева, А. А. Натарова. – Текст : электронный // Наука. Мысль: электронный периодический журнал. – 2016. – Том 1, № 7–1. – С. 141–145. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-stochnyh-vod-na-vodnye-obekty-v-voronezhskoy-oblasti> (дата обращения: 12.11.2022).
3. ИТС 10-2019. Очистка сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений, городских округов = Communal waste water treatment using urban centralized systems : утвержден приказом Росстандарта от 12 декабря 2019 г. N 2981 : дата введения 2020-09-01 / Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. – Москва : Бюро НДТ, 2019. – 416 с. – Текст : непосредственный.
4. Данилович, Д. А. Проектирование очистных сооружений канализации: как избежать негативного опыта / Д. А. Данилович. – Текст : непосредственный // НДТ. – 2018. – № 1. – С. 36–45.
5. СП 32.13330.2018. «СНиП 2.04.03-85 Канализация. Наружные сети и сооружения» : свод правил : издание официальное : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 25 декабря 2018 г. N 860/пр : дата введения 2018-12-25 / исполнитель Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (НИИСФ РААСН). – Москва : Минстрой России, 2018. – 133 с. – URL: – <https://minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/df7/SP-32.13330.2018.pdf> (дата обращения: 06.05.2023). – Текст : электронный.
6. Дубовик, О. С. Совершенствование биологической очистки сточных вод от соединений азота и фосфора в условиях каскадной денитрификации / О. С. Дубовик, Р. М. Маркевич, К. В. Антонов. – Текст : непосредственный // Водоснабжение и санитарная техника. – 2019. – № 2. – С. 19–23.
7. Воробьева, В. С. Анализ систем ливневой и бытовой канализации: технические, организационные и экономические аспекты / В. С. Воробьева, Г. В. Истратова. – Текст : непосредственный // Отходы и ресурсы. – 2018. – Том 5, № 3. – С. 2.
8. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году : государственный доклад. – Москва : Минприроды России ; НИА-Природа. – 2017. – 760 с. – Текст : непосредственный.
9. Соловьева, Е. А. Методика определения расчетных показателей расхода и состава сточных вод / Е. А. Соловьева, Б. Г. Мишуков. – Текст : непосредственный // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2015. – № 3(44). – С. 194–200.
10. Galil, N. I. Integrated solid waste systems including domestic garbage disposers / N. I. Galil, L. Yaacov. – Текст : непосредственный // Water Science and Technology. – 2001. – Volume 44. – P. 27–34.
11. Marashlian, N. The effect of food waste disposers on municipal waste and wastewater management / N. Marashlian, M. El-Fadel. – Текст : непосредственный // Waste Manage Res. – 2005. – Volume 23. – P. 20–31.
12. Крылова, Л. А. Анализ водопользователей и мониторинг сброса промышленных стоков в канализацию города / Л. А. Крылова, О. В. Яковлева, М. И. Морозенко. – Текст : непосредственный // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 12. – С. 149–154.
13. Мониторинг сброса промышленных стоков и их влияние на эффективность работы очистных сооружений г. Калуги / Л. А. Крылова, О. В. Яковлева, С. С. Стрельченко [и др.]. – Текст : непосредственный // Научные технологии. – 2017. – Том 18, № 10. – С. 43–48.
14. Chemical Oxidation Applications for Industrial Wastewaters / O. Tünay, I. Kabdaşlı, I. Arslan-Alaton, T. Ölmez-Hancı. – London : Published by IWA Publishing, 2010. – ISBN 9781843393078. – 362 p. – Текст : непосредственный.

Получена 20.09.2023

Принята 27.10.2023



В. С. РОЖКОВ, П. Г. БЕРЕЗА, О. В. ВАЩУК  
ВПЛИВ ПРИРОДНИХ І АНТРОПОГЕННИХ ФАКТОРІВ НА СКЛАД  
МІСЬКИХ СТІЧНИХ ВОД

ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», Російська Федерація, Донецька Народна Республіка, м. о. Макіївський, м. Макіївка

**Анотація.** У статті розглянуто недоліки існуючого підходу до прогнозування та розрахунку концентрацій забруднюючих речовин, що надходять від населених пунктів на спорудження біологічного очищення стічних вод. На підставі проведеного аналізу запропоновано теоретичні та експериментальні механізми обліку всіх можливих факторів, що впливають на склад стічних вод, що надходять на каналізаційні очисні споруди. Для врахування надходження поверхневих стічних вод у систему каналізації запропоновано використовувати залежність від відомого виду з уточненням коефіцієнтів, що залежать від місцевих умов. Встановлено, що використання побутових подрібнювачів істотно впливає на склад стічних вод, що надходять на біологічне очищення, що надає додаткові можливості щодо балансування якісного складу стоку. Для перспективного та ефективного контролю надходження промислових стічних вод у системи міської каналізації запропоновано оперативний метод вимірювання окисно-відновного потенціалу середовища у точках (постах) скидання виробничого стоку.

**Ключові слова:** стічні води, поверхневі води, промисловий стік, побутові подрібнювачі, окислювально-відновлювальний потенціал.

VITALIY ROZHKOVA, PAVEL BEREZA, OLEKSANDR VASHCHUK  
INFLUENCE OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS ON THE  
COMPOSITION OF URBAN WASTEWATER

FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian Federation, Makeevka

**Abstract.** The article discusses the shortcomings of the existing approach to forecasting and calculating the concentrations of pollutants coming from settlements to biological wastewater treatment facilities. Based on the analysis carried out, theoretical and experimental mechanisms are proposed for taking into account all possible factors that affect the composition of wastewater entering the sewage treatment plant. To account for the inflow of surface wastewater into the sewerage system, it is proposed to use dependencies of a known type with the refinement of coefficients depending on local conditions. It has been established that the use of household shredders has a significant impact on the composition of wastewater supplied for biological treatment, which provides additional opportunities for balancing the qualitative composition of the wastewater. For long-term and effective control of industrial wastewater inflow into urban sewerage systems, an operational method for measuring the redox potential of the environment at the points (posts) of industrial effluent discharge is proposed.

**Keywords:** wastewater, surface water, industrial wastewater, domestic shredders, redox potential.

**Рожков Віталій Сергєєвич** – кандидат технічних наук, доцент кафедри водоснабження, водоотведення і охорони водних ресурсів ФГБОУ ВО «Донбасская національная академия строительства и архитектуры». Научні інтереси: біологічна очистка стічних вод, оборотні системи промислового водоснабження, очистка природних вод.

**Берёза Павел Георгиевич** – асистент кафедри городского строительства и хозяйства ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научні інтереси: транспортування стічних вод, склад стічних вод, устрій систем побутової каналізації.

**Ващук Александр Валерьевич** – магістрант кафедри водоснабження, водоотведення і охорони водних ресурсів ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научні інтереси: склад стічних вод.

**Рожков Віталій Сергійович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: біологічне очищення стічних вод, оборотні системи промислового водопостачання, очищення природних вод.

**Береза Павло Георгійович** – асистент кафедри міського будівництва та господарства ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: транспортування стічних вод, склад стічних вод, влаштування систем побутової каналізації.

**Ващук Олександр Валерійович** – магістрант кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: склад стічних вод.

**Rozhkov Vitaliy** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: biological wastewater treatment, circulating industrial water supply systems, natural water treatment.

**Bereza Pavel** – Assistant, Municipal Building and Economy Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: wastewater transportation, wastewater composition, domestic sewerage systems.

**Vashchuk Oleksandr** – master's student, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: composition of waste water.

EDN: WJLXSS

УДК 628.31:504.062

**В. В. МАРКИН**ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевский, г. Макеевка

## **ОСОБЕННОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ МАЛЫХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ С БИОЛОГИЧЕСКИМИ ПРУДАМИ**

**Аннотация.** Большое число канализационных очистных сооружений малых населенных пунктов имеют длительный срок службы и устаревшие технологии. Для обеспечения нормативной степени очистки сточных вод требуется реконструкция таких очистных станций с применением современных технологий, что зачастую связано также со значительным увеличением эксплуатационных затрат. В частности, удаление фосфора из сточных вод малых населенных пунктов реализуется в основном с помощью затратной химической дефосфатации. Однако, на очистных сооружениях, в состав которых входят биологические пруды, при специальном культивировании в них высших водных растений на протяжении большей части года можно заменить реагентную обработку на биологическую доочистку, что, кроме того, позволит дополнительно получать ценный кормовой растительный материал. В данной работе такая возможность рассмотрена на примере канализационной очистной станции пгт. Гольмовский.

**Ключевые слова:** сточные воды, доочистка, биологические пруды, высшие водные растения, азот, фосфор.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В Российской Федерации установлены достаточно жесткие требования к качеству очистки сточных вод (СВ) населенных пунктов. В экологическом законодательстве предусмотрено два способа нормирования качества очищенных городских СВ: по технологическим показателям наилучших доступных технологий (НДТ), утвержденных в [1], либо по методике расчета нормативно-допустимого сброса (НДС) [2]. При нормировании на основе расчета НДС требования к качеству очистки устанавливаются, как правило, более жесткие, так как при этом допустимые концентрации загрязнений в очищенных стоках зачастую устанавливаются на уровне ПДК водоемов рыбохозяйственного назначения. Стабильно обеспечивать такое высокое качество очистки можно лишь при применении специальных технологий доочистки, требующих значительных капитальных и эксплуатационных затрат, не соответствующих получаемому экологическому эффекту.

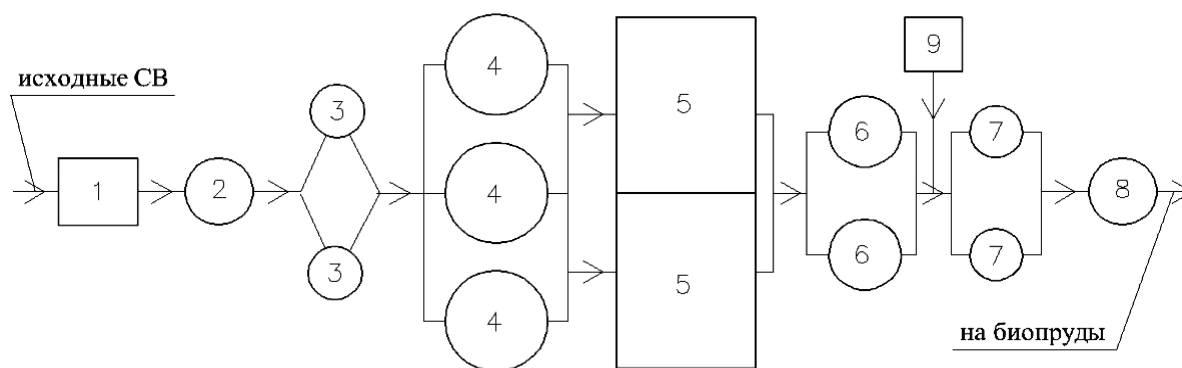
Однако, даже при применении практически более обоснованного технологического нормирования канализационные очистные сооружения (КОС) должны обеспечивать достаточно высокие требования, на которые многие из них, будучи построенными 30-60 лет назад, без реконструкции не способны. Выбор технологических решений модернизации КОС с целью минимизации затрат естественно должен опираться на существующую технологическую схему. В этом контексте особняком стоят небольшие по производительности очистные станции с двухъярусными отстойниками и биофильтрами. Рациональная схема реконструкции подобных КОС с максимальным использованием существующих сооружений была обоснована в работе [3]. Предложенная в указанной работе схема может быть использована для любых КОС с двухъярусными отстойниками, биофильтрами и вторичными вертикальными отстойниками. Однако, в некоторых случаях на подобных КОС для доочистки СВ имеются также биологические пруды, что не было учтено и рассмотрено в работе [3]. Задействование биологических прудов для доочистки СВ может упростить реконструкцию и снизить последующие затраты на эксплуатацию КОС.



**Целью** данной работы является обоснование технологической схемы реконструкции КОС малых населенных пунктов с биологическими прудами на примере очистной станции пгт. Гольмовский.

### ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Очистные сооружения пгт. Гольмовский принимают на очистку сточные воды только от данного населенного пункта, крупные промпредприятия в котором отсутствуют. КОС введены в эксплуатацию в 1980 г. Проектная производительность – 2,8 тыс. м<sup>3</sup>/сут. КОС эксплуатируются филиалом «Горловское ПУВКХ» ГУП «Вода "Донбасса"». В состав КОС пгт. Гольмовский входят следующие сооружения: решетки с ручной очисткой; насосная станция (НС) перекачки СВ на песколовки; две горизонтальные песколовки с круговым движением жидкости (D = 4 м); три двухъярусных отстойника (D = 12 м); два капельных биофильтра с щебеночной загрузкой; два вторичных вертикальных отстойника (D = 9 м); два контактных резервуара (в виде вертикальных отстойников) (D = 6 м); НС перекачки СВ на биопруды; три последовательно расположенных биопруда (1-й – 65×90 м, S = 6 000 м<sup>2</sup>, 2-й – 65×100 м, S = 6 500 м<sup>2</sup>, 3-й – 60×170 м, S = 10 000 м<sup>2</sup>). Сброс СВ после биопрудов осуществляется в б. Сухой Яр и далее в р. Бахмут бассейна р. Северский Донец. Технологическая блок-схема КОС приведена на рисунке 1. На рисунке 2 представлен спутниковый фотоснимок площадки КОС с биопрудами.



**Рисунок 1** – Технологическая блок-схема КОС пгт. Гольмовский: 1 – здание решеток; 2 – НС перекачки СВ на песколовки; 3 – песколовки; 4 – двухъярусные отстойники; 5 – биофильтры; 6 – вторичные отстойники; 7 – контактные резервуары; 8 – НС перекачки СВ на биопруды; 9 – хлораторная с электролизными установками производства гипохлорита натрия.



**Рисунок 2** – Спутниковый фотоснимок площадки КОС пгт. Гольмовский с биопрудами.

Среднесуточный (за 2020 г.) расход СВ, поступающих на КОС пгт. Гольмовский – 355 м<sup>3</sup>/сут, минимальный суточный – 200 м<sup>3</sup>/сут, расход, соответствующий 85-му перцентилю (из выборки за 2020 г.) – 550 м<sup>3</sup>/сут, максимальный – 610 м<sup>3</sup>/сут.

Качество СВ, поступающих на КОС, качество СВ после контактных резервуаров и гранично-допустимые концентрации (ГДК), установленные ранее для выпуска СВ, приведены в таблице. Также в данной таблице указаны значения технологических показателей (ТП) НДТ, которые будут установлены для очищенных СВ в случае разработки комплексного экологического разрешения (категория водоема сброса – Б).

Таблица – Качество СВ на входе и выходе КОС пгт. Гольмовский за 2020 г.

Показатели	Ед. изм.	Исходная СВ			СВ после контактных резервуаров*			ГДК	ТП НДТ
		Средн.	Мин.	Макс.	Средн.	Мин.	Макс.		
ХПК	мг/л	420	370	460	72	60	80	80	80
БПК <sub>5</sub>	мг/л	205	175	238	26	18	35	15	10
Взвешенные вещества	мг/л	215	173	272	30	18	40	15	15
Азот аммонийный	мг/л	39	28	61	13	6	20	2	1,5
Азот нитритный	мг/л	–	–	–	0,8	0,6	1	1	0,25
Азот нитратный	мг/л	–	–	–	3,2	2,5	5,0	10,2	12
Фосфор фосфатов	мг/л	3,9	2,9	4,9	2,5	2,0	3,1	1,14	1,5

\* – данные о качестве стоков после биопрудов отсутствуют, так как с 2014 г., в связи с боевыми действиями, доступ к месту отбора проб после биопрудов закрыт.

Анализируя данные таблицы, можно отметить, что после контактных резервуаров БПК<sub>5</sub>, содержание взвешенных веществ, фосфора фосфатов и особенно азота аммонийного значительно превышают гранично-допустимые концентрации (ГДК), установленные в экологической разрешительной документации, действующей в настоящее время в отношении КОС пгт. Гольмовский.

Неудовлетворительное качество очистки СВ в основных сооружениях связано прежде всего с физическим износом биофильтров и их неспособностью обеспечивать процесс нитрификации, а в данном случае и стабильное окисление органических веществ, до нормативных требований. Для улучшения экологической обстановки пгт. Гольмовский необходима модернизация КОС.

При составлении технологической схемы реконструкции КОС необходимо ориентироваться на нормативы качества очистки, которые будут установлены в новой разрешительной документации, которая должна быть разработана в соответствии с законодательством РФ до 2026 г. В отношении КОС пгт. Гольмовский возможно нормирование как по показателям НДТ, так и по расчету НДС. Показатели, которые будут установлены при более рациональном и обоснованном технологическом нормировании, приведены в последнем столбце таблицы. В данной работе разработка технологической схемы реконструкции КОС выполнена с целью достижения нормативов НДТ.

Итак, ранее в работе [3] предложена общая схема реконструкции очистных станций малых населенных пунктов, которая предусматривает: переоборудование двухъярусных отстойников в аэротенки-отстойники с затопленной эрлифтной системой аэрации по технологии, разработанной д. т. н. В. И. Нездойминовым [4] (первая ступень биологической очистки); реконструкцию вторичных вертикальных отстойников в аэротенки-отстойники (вторая ступень биологической очистки); устройство системы приготовления и дозирования реагента перед второй ступенью биологической очистки для удаления фосфатов до нормативных требований; обеззараживание очищенных СВ УФ-излучением. Биофильтры из данной схемы исключаются. Предложенная схема позволит получить высокое качество очищенных СВ, приближенное к ПДК водоемов рыбохозяйственного назначения.

Однако, при наличии биологических прудов и необходимости обеспечивать качество очистки СВ на уровне норм НДТ, а не рыбохозяйственных водоемов, данную схему можно упростить. Биологические пруды при их модернизации, как будет показано ниже, могут осуществлять эффективную доочистку СВ по всем основным показателям и заменить вторую ступень биологической очистки и химическое удаление фосфора.

Например, в работе [5] приведена эффективность доочистки СВ предприятия ООО «Суджанский маслодельный комбинат» в каскаде трех проточных биопрудов, при времени пребывания 50 сут. Средний эффект снижения взвешенных веществ (ВВ) составил 94 % (с 108 до 6 мг/л), БПК<sub>5</sub> – 89 % (с 46 до 5 мг/л), азота аммонийного – 72 % (с 1,82 до 0,51 мг/л), нитритов – 64 % (с 0,14 до 0,05 мг/л), нитратов – 70 % (с 5 до 1,5 мг/л), фосфора – 18 % (с 0,17 до 0,14 мг/л).

В работе [6] исследована эффективность доочистки СВ г. Доброполя после основного этапа очистки на городских КОС за 2016 и 2021 гг. Установлено, что средняя эффективность удаления ВВ в 2016 г. составила 72 % (снижение с 43 до 12 мг/л), БПК<sub>5</sub> – 85 % (с 41 до 6 мг/л), нитратов – 51 % (с 153 до 74 мг/л). По азоту аммонийному и нитритам наблюдалось даже увеличение концентраций. В 2021 гг. общие тенденции качества очистки сохранились, но значения эффективности немного снизились, что, вероятно, связано с постепенным накоплением загрязнений в биопрудах. Эффект удаления фосфатов составил в среднем 24 % (5,3 мг/л – на входе, 4 мг/л – на выходе) [6].

Приведенные данные относятся к биопрудам без специального культивирования высшей водной растительности (ВВР). Конечно, ВВР в этих прудах произрастают, но самопроизвольно. В таких водоемах доочистка СВ происходит за счет различных механизмов: седиментации; адсорбции на растениях, плавающих твердых частицах; химического преобразования растворенных веществ в нерастворенные; биологической трансформации.

Биоценозы биопрудов состоят из фототрофных микроорганизмов и ВВР, выделяющих кислород и поглощающих углекислый газ, азот и фосфор, сапрофитных деструкторов, разлагающих мертвое органическое вещество в аэробных или анаэробных условиях, а также консументов различных трофических уровней. При самопроизвольном формировании в условиях поступления в биопруды значительного количества азота и фосфора из фототрофных организмов преимущественное развитие получают бактерии и одноклеточные микроорганизмы, которые концентрируются на поверхности воды, образуют плотный плавающий слой и препятствуют проникновению солнечных лучей в глубь водоема, из-за чего развитие бентосных водорослей прекращается, в средних и нижних горизонтах концентрация кислорода снижается и в водоеме преобладают анаэробные процессы. После отмирания фитопланктон оседает на дно, добавляя органики и усиливая анаэробные процессы.

Специальное культивирование ВВР в биопрудах по всей площади изменяет биологические процессы в лучшую сторону: кислород вырабатывается более равномерно по вертикальному профилю; период жизни ВВР гораздо более длительный, чем фитопланктона, таким образом поглощаемые вещества (в том числе N и P) накапливаются в них более продолжительное время; после отмирания и осадения на дно часть растений переходит в химически стабильные труднорастворимые соединения, из которых N и P не выделяется; ВВР можно периодически удалять из сооружений и утилизировать (например, как удобрения или корм для сельскохозяйственных животных), извлекая и используя таким образом N и P [7].

Во многих странах мира довольно широкое распространение получили так называемые фитоочистные системы (ФОС) различных разновидностей: с поверхностным потоком, подповерхностным горизонтальным или вертикальным потоком, комбинированные. Они успешно используются для очистки как муниципальных СВ небольших поселений, так и производственных, как в качестве основного этапа очистки, так и для доочистки [8]. ФОС с поверхностным потоком по сути представляют собой биопруды, заполненные по всей площади ВВР с той разницей, что на дно укладывается слой загрузки из щебня, гравия или другого заполнителя.

В России в Иркутском ГТУ более 30 лет под руководством проф. С. С. Тимофеевой успешно ведутся исследования по разработке и внедрению различных видов ФОС, в том числе и с поверхностным потоком, в условиях резко континентального климата [9]. К настоящему времени разработано большое количество ФОС для разных типов производственных СВ (подобраны эффективные макрофиты), а также для городских и поверхностных СВ.

Проанализировав имеющуюся информацию об эффективности применения биопрудов с ВВР и подобных им ФОС, можно заключить, что при правильном расчете и конструировании они могут обеспечить доочистку муниципальных СВ с доведением качества до норм НДТ. При новом строительстве, не имея достаточных площадей, такой вариант, конечно, не подойдет. Но в случае реконструкции, при уже имеющихся биопрудах, необходимо обязательно рассматривать возможность их применения и интенсификации работы за счет культивирования ВВР, так как капитальные и эксплуатационные затраты такой технологии минимальные. При этом нужно учитывать, что вегетационный период ВВР в умеренном климате длится в среднем около 8 месяцев. В холодный период вегетация ВВР останавливается, что приводит к снижению эффективности очистки.

Для обеспечения эффективной круглогодичной доочистки возможно реконструировать биопруды в ФОС с подповерхностным потоком. В холодный период года поверхность загрузки в таких сооружениях утепляется терморегулирующим слоем (торфом, опилками, легкой почвой и т. п.), что позволяет сохранить эффективность очистки на прежнем уровне [8]. Реконструкция биопрудов в ФОС с подповерхностным потоком гораздо более затратная, чем простое культивирование ВВР, поэтому целесообразность такого решения должна быть экономически обоснована.

Вернемся теперь к КОС пгт. Гольмовский и определим расчетным путем, возможно ли задействовать имеющиеся биопруды в технологической схеме реконструкции для доочистки стоков до требований НДТ. Итак, основной этап очистки – биологическая очистка – будет осуществляться в двухъярусных отстойниках, реконструированных в аэротенки-отстойники с затопленной эрлифтной системой аэрации [4]. Перед этим стоки пройдут грубую механическую обработку на решетках с ручной очисткой и песколовках. Исходные концентрации загрязнений перед аэротенками-отстойниками, соответствующие 85-му перцентилю, составляют: БПК<sub>5</sub> – 219 мг/л, ВВ – 235 мг/л, азот аммонийный – 47 мг/л, фосфор фосфатов – 4,5 мг/л, азот общий – 57 мг/л, фосфор общий – 7,8 мг/л. Технологический расчет потребного объема биореакторов выполнен через возраст ила по методике [10]. Расчетное значение аэробного возраста ила для нитрификации первой ступени до конечной концентрации азота аммонийного 1,5 мг/л с учетом коэффициента запаса 1,6 и при средней температуре СВ в холодное время 8 °С равно  $t_{ia} = 12$  сут, а для нитрификаторов второй ступени до содержания азота нитритного 0,25 мг/л –  $t_{ia} = 8,1$  сут.  $t_{ia}$  принято 12 сут. Концентрация азота, подлежащего денитрификации, по массовому балансу  $C_{NO_3D} = 33$  мг/л. Отношение денитрифицируемого азота к исходному БПК<sub>5</sub> равно  $C_{NO_3D}/BPK_5 = 33/219 = 0,15$  (т. е. органики достаточно для денитрификации). Соотношение объема зоны денитрификации к общему объему зоны биологической очистки –  $V_D/V_{ND} = 0,49$ . Общий возраст ила равен  $t_{it} = 24$  суток. Коэффициент прироста ила  $sp_{BOD} = 0,973$  кг/кгБПК<sub>5</sub>, прирост ила  $SP_{org} = 75,6$  кг/сут. Доза ила с учетом того, что илоотделение по технологии реконструкции двухъярусных отстойников осуществляется в осадочных желобах во взвешенном слое [4], принимается 3 г/л. Потребный общий объем зоны биологической очистки  $V_{ND} = 24 \times 75,6 / 3 = 605$  м<sup>3</sup>. Объем зоны биологической очистки одного аэротенка-отстойника  $D = 12$  м (гидравлический объем без осадочных желобов) равен 650 м<sup>3</sup>. Таким образом для осуществления биологической очистки до нормативных требований по аммонии, нитритам и нитратам достаточно объема одного двухъярусного отстойника. Двух отстойных желобов отстойника хватает для обеспечения илоразделения при остаточном количестве взвеси 15 мг/л. Гидравлическая глубина осадочных желобов – 2,4 м, расчетная гидравлическая нагрузка при этой глубине – 1,03 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч). Площадь одного желоба – 26 м<sup>2</sup>, двух – 52 м<sup>2</sup>. Расход СВ при максимальном часовом притоке – 45 м<sup>3</sup>/ч. Фактическая гидравлическая нагрузка составляет 0,86 м<sup>3</sup>/(м<sup>2</sup>·ч) и не превышает расчетную. По итогам расчетов предусматривается реконструкция двух двухъярусных отстойников в аэротенки-отстойники: один рабочий и один резервный.

После аэротенков-отстойников из соображений только технологических уже можно было бы направить СВ в биологические пруды на доочистку, а после них – на обеззараживание. Но устраивать обеззараживание после биопрудов за территорией площадки КОС на значительном удалении проблематично. Поэтому в данном случае после аэротенков-отстойников СВ пройдут дополнительное третичное отстаивание в существующих вертикальных отстойниках, что позволит осаждать избыточно выносимые из аэротенков-отстойников взвешенные вещества в периоды увеличения илового индекса и повысит стабильность очистки. От третичных отстойников СВ будут поступать в насосную станцию очищенных СВ и далее перекачиваться в биопруды. Обеззараживание целесообразно предусмотреть с помощью установок УФ-излучения закрытого типа напорной линии.

В итоге СВ, подаваемые в биологические пруды, уже будут соответствовать требованиям НДТ по всем показателям, кроме БПК<sub>5</sub>, расчетное значение которого составит 12...15 мг/л, и концентрации Р фосфатов, равной примерно 5,4 мг/л при норме 1,5 мг/л. Таким образом, перед биопрудами стоит задача обеспечить доочистку СВ от органических веществ до значения БПК<sub>5</sub> не более 10 мг/л и, самое главное, снизить концентрацию Р на 3,9 мг/л. В справочнике НДТ очистки СВ централизованных систем водоотведения городских округов для удаления Р рекомендуется применение химического либо биологического способа (для КОС с производительностью менее 5 000 м<sup>3</sup>/сут рекомендуется химический способ). Биопруды в данном справочнике к НДТ по доочистке стоков от Р не отнесены. Тем не менее, как будет показано далее, использование существующих биопрудов при культивировании в них ВВР в умеренном климате позволит на протяжении примерно 8 месяцев (вегетационный период растений) заменить реагентную очистку и значительно снизить эксплуатационные затраты.

Объем первого биопруда составляет около 6 тыс. м<sup>3</sup>, второго – 6,5 тыс. м<sup>3</sup>, третьего – 10 тыс. м<sup>3</sup>; время пребывания СВ в каждом из них равно 17, 18 и 28 суток соответственно. Расчет эффективности снижения БПК в биопрудах по проверенной «советской» методике СНиП 2.04.03-85 «Канализация. Наружные сети и сооружения» показал, что общего времени пребывания СВ – 63 суток – более чем достаточно для снижения БПК<sub>5</sub> до нормативных требований. Расчетное конечное БПК<sub>5</sub> составит около 6 мг/л.

Для интенсификации процесса доочистки СВ по Р предлагается высадить в прибрежной полосе биопрудкамывш озерный – в первом биопруду, рогоз узколистный – во втором и тростник обычный – в третьем, а всю остальную площадь биопрудов заполнить эйхорнией отличной. Этот макрофит, плавающий на поверхности воды, обладает высокой способностью ассимилировать из СВ различные растворенные вещества, в том числе фосфаты, аммоний, нитраты, тяжелые металлы, фенолы и др. [11; 12]. Кроме того, эйхорния отличная имеет высокую скорость прироста массы в теплое время года [13].

При среднем суточном расходе СВ  $355 \text{ м}^3/\text{сут}$  и необходимости снижения концентрации Р на  $3,9 \text{ г}/\text{м}^3$ , масса Р, которую необходимо удалить за вегетационный период (8 месяцев), равна 332 кг. Прирост сырой массы эйхорнии отличной при выращивании на хозяйственно-бытовых СВ по данным [13] при начальной плотности маточной культуры  $1 \text{ кг}/\text{м}^2$  составляет  $263 \text{ г}/\text{м}^2$  в сутки. При общей площади биопрудов, занятой эйхорнией отличной, около  $20\ 300 \text{ м}^2$  за вегетационный период прирост сырой биомассы составит 1 281 т или 66,6 т сухой массы (влажность – 5,2 % [14]). Концентрация Р в сухом веществе эйхорнии отличной находится на уровне 0,75 % [14], тогда в 66,6 т сухой биомассы растения будет содержаться около 500 кг Р. Таким образом за счет выращивания эйхорнии отличной в течение вегетационного периода можно снизить концентрацию Р фосфатов ниже нормативного значения. Кроме этого, снизится также и концентрация минеральных форм N. В сухом веществе эйхорнии отличной содержится 1,42 % N [14], тогда в 66,6 т сухой биомассы будет 0,95 т N. Если предположить, что потребляется только N нитратов, то его концентрация могла бы уменьшиться с 12 до 1 мг/л.

Для эффективной доочистки в биопрудах необходимо регулярно извлекать избыточную биомассу растений, не допуская их отмирания, разложения и возвращения ассимилированных веществ в воду. Изъятую биомассу эйхорнии отличной можно использовать в качестве корма для сельскохозяйственных животных, так как она обладает высокими питательными свойствами, содержит много каротина, протеина, клетчатки, сахара, крахмала и т. п. [12; 14].

В исследовании [14] выявлено, что зеленая биомасса эйхорнии отличной, выращенная на СВКОС, обсеменена бактериальной микрофлорой, в том числе патогенной, что предопределяет необходимость ее обеззараживания. Однако, в технологической схеме КОС пгт. Гольмовский СВ перед биопрудами пройдут обеззараживание УФ-излучением, поэтому патогенные микробы и вирусы в биомассу не должны попадать.

В зимний период с целью удаления фосфора из СВ до нормативного значения все же потребуются применение химического способа. Для этого предусматривается реагентное хозяйство приготовления и дозирования раствора сульфата алюминия в СВ перед аэротенками-отстойниками. Ориентировочная доза алюминия – 5 мг/л.

## ВЫВОДЫ

Биологические пруды, входящие в состав канализационных очистных станций, обладают значительным потенциалом для доочистки сточных вод, который необходимо реализовывать при реконструкции КОС путем культивирования в биопрудах ВВР. Это позволит на протяжении большей части года обеспечивать эффективную доочистку СВ по всем основным показателям, и самое главное – по фосфору, и, соответственно, не применять в это время реагентную дефосфатацию, а также позволит получить ценную кормовую биомассу. Такой способ доочистки с определенной степенью эффективности можно применять не только на КОС малых населенных пунктов, но и крупных городов с биопрудами (например, на очистных сооружениях гг.: Докучаевск, Горловка, Доброполье и др.).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Российская Федерация. Правительство. Об утверждении технологических показателей наилучших доступных технологий в сфере очистки сточных вод с использованием централизованных систем водоотведения поселений или городских округов : Постановление Правительства Российской Федерации от 15.09.2020 № 1430. – Текст : электронный // Правительства Российской Федерации : [сайт]. – 2020. – URL: <http://government.ru/docs/all/129907/> (дата обращения: 20.09.2023).
2. Российская Федерация. Министерство природы. Об утверждении Методики разработки нормативов допустимых сбросов загрязняющих веществ в водные объекты для водопользователей : Приказ Министерства природы Российской Федерации от 29.12.2020 № 1118 (редакция от 18.05.2022). – Текст : электронный // Консультант-Плюс : [сайт]. – 2020. – URL: [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_373522/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_373522/) (дата обращения: 20.09.2023). – Текст : электронный.



3. Маркин, В. В. Выбор рациональной схемы модернизации канализационных очистных сооружений малых населенных пунктов / В. В. Маркин. – Текст : непосредственный // Научно-практический журнал «Строитель Донбасса». – 2022. – № 1(18). – С. 37–43.
4. Нездойминов, В. И. Одноиловая нитрификация-денитрификация в биологических реакторах с затопленной эрлифтной системой аэрации : специальность 05.23.04 «Водоснабжение, канализация» : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Нездойминов Виктор Иванович ; ДонНАСА. – Макеевка, 2012. – 37 с. – Текст : непосредственный.
5. Лукьянчиков, Д. И. Защита поверхностных вод Курской области от антропогенного загрязнения путем применения биологических прудов с высшей водной растительностью : специальность 25.00.27 «Гидрология суши, водные ресурсы, гидрохимия» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук / Лукьянчиков Дмитрий Игоревич. – Курск, 2012. – 24 с. – Текст : непосредственный.
6. Маркин, В. В. Исследование эффективности доочистки городских сточных вод в биопрудах / В. В. Маркин, В. А. Маркин. – Текст : непосредственный // Научно-практический журнал «Строитель Донбасса». – 2023. – № 1 (22). – С. 16–23.
7. Возможности использования макрофитов для доочистки сточных вод / А. С. Сардина, А. М. Капизова, А. Э. Усынина [и др.]. – Текст : непосредственный // Естественные науки: актуальные вопросы и социальные вызовы : материалы III Международной научно-практической конференции, Астрахань, 27–28 ноября 2020 года. – Астрахань : Издательский дом «Астраханский университет», 2020. – С. 250–255.
8. Рыбка, К. С. Фито-очистная система открытого типа как природно-техногенный барьер для загрязняющих веществ : специальность 25.00.36 «Геоэкология (по отраслям)» : диссертация на соискание ученой степени кандидата географических наук / Рыбка Ксения Юрьевна. – Москва, 2021. – 230 с. – Текст : непосредственный.
9. Тимофеева, С. С. Фитотехнологии и возможности их применения в условиях Восточной Сибири / С. С. Тимофеева, С. С. Тимофеев. – Текст : непосредственный // Вестник ИГСХА. – 2012. – № 48. – С. 136–145.
10. Данилович, Д. А. Расчет и технологическое проектирование сооружений биологической очистки городских сточных вод в аэротенках с удалением азота и фосфора / Д. А. Данилович, А. Н. Эпов. – Москва : [б. и.], 2020. – 225 с. – ISBN 978-5-4465-2829-5. – Текст : непосредственный.
11. Сардина, А. С. Модернизация биопрудов для очистки хозяйственно-бытовых стоков / А. С. Сардина, С. А. Попов, Е. С. Харитоновна. – Текст : непосредственный // Эффективные технологии в области водоподготовки и очистки в системах водоснабжения и водоотведения : материалы I Всероссийской студенческой научно-практической конференции, Волгоград, 17–19 марта 2021 года. – Волгоград : ВолгГТУ, 2021. – С. 74–77.
12. Флюрик, Е. А. Использование *Eichhorniacrassipes* для очистки сточных вод и получения кормовой добавки / Е. А. Флюрик, О. В. Абрамович, А. А. Змитрович. – Текст : непосредственный // Труды БГТУ. № 4. Химия, технология органических веществ и биотехнология. – 2014. – № 4(168). – С. 155–160.
13. Раимбеков, К. Т. Продуктивность эйхорнии отличной (*Eichhornia crassipes Solms*) при культивировании на сточных водах различных производств / К. Т. Раимбеков. – Текст : непосредственный // Вестник ОшГУ. – 2008. – № 2. – С. 55–59.
14. Раимбеков, К. Т. Изучение химического состава биомассы эйхорнии отличной до и после термической обработки / К. Т. Раимбеков. – Текст : непосредственный // Известия вузов. – 2010. – № 7. – С. 14–16.

Получена 02.10.2023

Принята 27.10.2023

**В. В. МАРКІН**  
**ОСОБЛИВОСТІ РЕКОНСТРУКЦІЇ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД**  
**МАЛИХ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ ІЗ БІОЛОГІЧНИМИ СТАВКАМИ**  
 ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», Російська  
 Федерація, Донецька Народна Республіка, м. о. Макіївський, м. Макіївка

**Анотація.** Велика кількість каналізаційних очисних споруд малих населених пунктів мають тривалий термін служби та застарілі технології. Для забезпечення нормативного ступеня очищення стічних вод потрібна реконструкція таких очисних станцій із застосуванням сучасних технологій, що часто пов'язано також із значним збільшенням експлуатаційних витрат. Зокрема, видалення фосфору зі стічних вод малих населених пунктів реалізується переважно за допомогою витратної хімічної дефосфатації. Однак, на очисних спорудах, до складу яких входять біологічні ставки, при спеціальному культивуванні в них вищих водних рослин протягом більшої частини року можна замінити реагентну обробку на біологічне доочищення, що, крім того, дозволить додатково отримувати цінний кормовий рослинний матеріал. У даній роботі така можливість розглянута на прикладі каналізаційної очисної станції смт. Гольмівський.

**Ключові слова:** стічні води, доочищення, біологічні ставки, вищі водні рослини, азот, фосфор.

VYACHESLAV MARKIN  
FEATURES OF THE RECONSTRUCTION OF SEWAGE TREATMENT PLANTS  
OF SMALL SETTLEMENTS WITH BIOLOGICAL PONDS  
FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian  
Federation, Makeevka

**Abstract.** A large number of sewage treatment plants in small settlements have a long service life and outdated technologies. To ensure the standard degree of wastewater treatment, reconstruction of such treatment plants using modern technologies is required, which is often also associated with a significant increase in operating costs. In particular, the removal of phosphorus from wastewater of small settlements is carried out mainly through expensive chemical dephosphatization. However, at wastewater treatment plants that include biological ponds, with the special cultivation of higher aquatic plants in them for most of the year, it is possible to replace reagent treatment with biological post-treatment, which, in addition, will allow production of valuable feed plant material. In this paper, this possibility is considered, using the example of a sewage treatment plant in an urban-type settlement Golmovsky.

**Keywords:** wastewater, post-treatment, biological ponds, higher aquatic plants, nitrogen, phosphorus.

**Маркин Вячеслав Владимирович** – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры техносферной безопасности ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: очистка городских сточных вод.

**Маркін В'ячеслав Володимирович** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри техносферної безпеки ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: очищення міських стічних вод.

**Markin Vyacheslav** – Ph. D. (Eng.), Senior Lecturer, Technosphere Safety Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: municipal wastewater treatment.

EDN: XJJNZO

УДК 628.396

**А. С. ПАВЛЮЧЕНКО<sup>а</sup>, Н. И. ГРИГОРЕНКО<sup>б</sup>**<sup>а</sup> АО «НИПИГазпереработка», Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. Донецк;<sup>б</sup> ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевский, г. Макеевка

## СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ЛОГИКИ УПРАВЛЕНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ ПОЖАРОТУШЕНИЯ

**Аннотация.** В условиях современных реалий работы инженеров-проектировщиков и технологов водоснабжения и водоотведения особое внимание необходимо уделять вопросам автоматизации работы проектируемых объектов, в том числе насосных станций пожаротушения промышленных предприятий. Основным документом, который отражает задание для инженеров КИПиА по установке датчиков, организации работы системы и пуско-наладочных работ является «логика управления». Данные по проектированию логики описаны очень поверхностно и не дают представления об ее основных этапах и порядке составления. В этой статье приведена универсальная логика управления насосной станцией пожаротушения на промышленных предприятиях, которая отражает основные этапы ее работы при возникновении пожара. Данный шаблон может быть использован проектировщиками и технологами как основа с индивидуальными дополнениями или исключениями в зависимости от условий проектирования.

**Ключевые слова:** пожаротушение, пожарные насосы, автоматизация, логика управления, тег, тегирование.

### АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

На сегодняшний день перед инженерами-проектировщиками стоит задача интеллектуального проектирования и активного внедрения технологий, позволяющих объектам работать в автономном режиме. Данные требования внедряются и в нормативы по проектированию систем пожаротушения. Согласно [1] п. 11.3 противопожарные насосные станции как правило должны проектироваться без постоянного обслуживающего персонала с управлением: автоматическим, дистанционным (телемеханическим) – из пункта управления или местным – периодически приходящим персоналом с передачей необходимых сигналов на пункт управления или пункт с постоянным присутствием обслуживающего персонала.

Работа насосных станций характеризуется изменчивостью режимов работы, что может стать причиной возникновения таких явлений как гидроудар, кавитация или нарушение сплошности потока жидкости и может привести к износу элементов станции и снижению энергоэффективности ее работы. Что касается противопожарных насосных станций, то на большинстве объектов применяется автоматическая система обнаружения пожаров. Но практика показала, что во время эксплуатации постоянно происходят ложные срабатывания пожарной сигнализации – это одна из самых актуальных проблем на данный момент [4]. При ложном срабатывании системы может запуститься пожарный насос, и если в системе на данный момент нет водоразбора или он минимален, то создаются условия для гидроудара. В свою очередь, это ведет к выходу из строя части системы пожаротушения, что крайне нежелательно на промышленных объектах, может возникнуть серьезное повреждение линии, даже в пределах насосной станции незакрепленные участки труб без промежуточных опор могут быть повреждены резонансными колебаниями [5].

В связи со множеством влияющих на работу системы факторов и контролируемых параметров в случае возникновения внештатной или аварийной ситуации зачастую оператору довольно сложно принять правильное решение или достичь согласованности действий в условиях ограниченного



времени или эмоциональной нагрузки. При этом наиболее целесообразным путем обеспечения эффективного управления режимами работы насосных станций в условиях возникновения нестационарных процессов является построение комплексной интегрированной системы диагностики и управления на основе новых подходов с использованием интеллектуальных технологий [3].

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Вопросу автоматизации насосных станций посвящено множество научных статей, однако в них рассмотрен процесс управления с точки зрения инженера КИПиА, а не технологии [3]. Однако, прежде чем отдел контрольно-измерительных приборов и автоматики приступит к работе, инженер-технолог по водоснабжению должен пошагово расписать работу насосной станции на каждом ее этапе в различных режимах и условиях с указанием мест установки датчиков необходимых параметров. При этом выполнение данного вида работ можно упростить, если создать универсальный шаблон основных этапов работы того или иного объекта и использовать его как основу с индивидуальными дополнениями или исключениями в зависимости от условий проектирования. В отечественной литературе 70-х годов (А. Е. Кузнецова) встречаются попытки упорядочить действия инженера ВК по автоматизации насосной станции, однако на сегодняшний день эти сведения неполны и несколько устарели.

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработка универсальной логики управления насосными станциями пожаротушения на промышленных предприятиях и упрощение работы инженера-проектировщика при ее составлении.

### ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

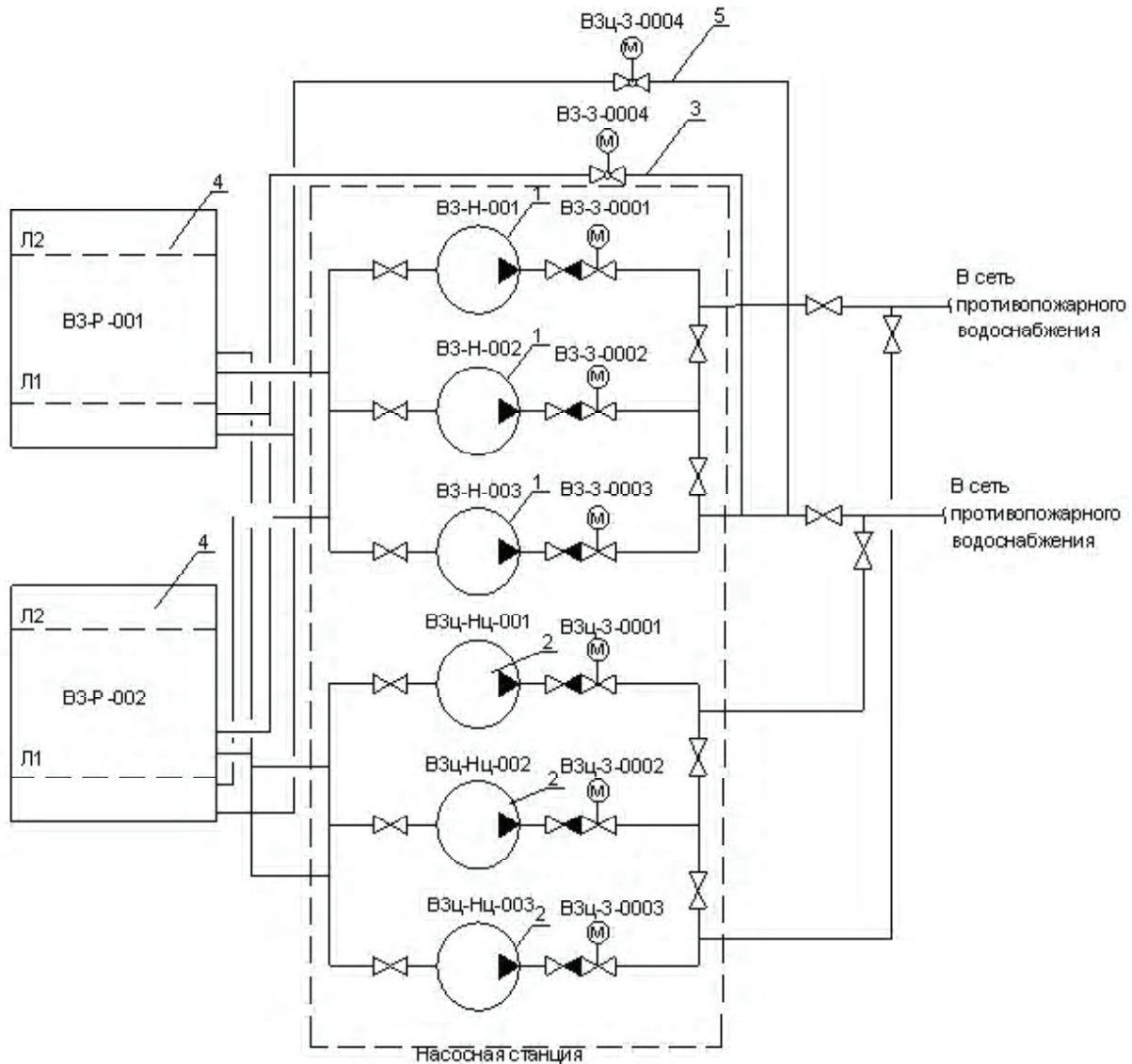
Для разработки универсальной логики управления насосными станциями пожаротушения принята типовая насосная станция. Несмотря на то, что в каждом конкретном случае проектирования могут быть отличия в количестве оборудования и местах его расположения следующие пункты являются универсальными и могут быть взяты за основу с некоторыми личными дополнениями инженера, разрабатывающего документ логики управления НС для отдела КИПиА. На рисунке приведена стандартная технологическая схема работы насосной станции пожаротушения на промышленном предприятии.

При проектировании насосной станции противопожарного водоснабжения промышленного предприятия расчет необходимо выполнять в соответствии с разделом 5 [1]. на случай возникновения максимального пожара из возможных с учетом расхода на внутреннее и наружное пожаротушение или орошение и тушение аппаратов. Также для насосных станций необходимо соблюдать требования [2] п. 11.27 по защите от гидроударов. Для защиты от гидравлического удара допускается применять: сброс воды из напорной линии во всасывающую, выпуск воды в местах возможного образования разрывов сплошности потока в водопроводе.

Одним из важных моментов управления и работы противопожарной насосной станции является автоматический контроль параметров системы. Без этого невозможна и работа алгоритма логики управления насосной станции. Основные параметры, которые необходимо контролировать: давление, расход и температура воды, температура подшипников пожарных насосов, уровни воды в резервуарах, положение запорных устройств и др. Немаловажно месторасположение манометров и датчиков температуры на сети, их необходимо устанавливать на всасывающей, напорной линиях и в самой удаленной точке от насосной станции (конец сети).

При возникновении пожара на объекте, к которому относится проектируемая противопожарная насосная станция, существует два варианта запуска пожарных насосов: полуавтоматический – при обнаружении возгорания пожарные насосы запускаются в ручном режиме и дают в сеть гарантированный напор и расход воды; автоматический – пожарные насосы включаются при падении давления в сети или дистанционно.

Согласно п. 11.4 [1] одновременно с включением пожарного насоса должна автоматически сниматься блокировка, исключающая возможность подачи неприкосновенного пожарного объема воды, а также должны выключаться промывные насосы (при их наличии). В противопожарных водопроводах высокого давления одновременно с включением пожарных насосов должны автоматически выключаться все насосы другого назначения и закрываться задвижки на подающем трубопроводе в водонапорную башню или напорные резервуары. Таким образом первым пунктом, прописанным в



**Рисунок** – Стандартная технологическая схема противопожарной насосной станции: 1 – противопожарный насос; 2 – циркуляционный насос; 3 – обводная линия; 4 – пожарные резервуары; 5 – возвратная линия циркуляции.

логике управления должно быть снятие блокировки с неприкосновенного запаса воды в резервуарах и пуск пожарных насосов и отключение циркуляционных. Отключение всех насосов другого назначения, в том числе циркуляционных, на станциях малой производительности происходит одновременно с включением противопожарных насосов, в то же время на станциях большой производительности данная рекомендация может привести к возникновению гидроудара в системе. Решением этой проблемы может стать выключение циркуляционных насосов «по давлению», т. е. в момент достижения максимального давления в сети при совместной работе с пожарными насосами. Автоматическое открытие задвижек на напорных линиях противопожарных насосов обязательно должно учитывать требования к пуску насосного агрегата (% открытия задвижки/клапана при пуске насоса и скорость открытия запорно-регулирующей арматуры).

После команды «Пуск» инженер-проектировщик обязан предусмотреть автоматическую проверку на работоспособность агрегата, а также отложенную команду отключения рабочего насоса и включения резервного при невыходе на рабочие параметры в течение нормативного времени [1].

Как было указано ранее, для защиты от гидроудара должен предусматриваться сброс воды в резервуары для понижения давления в системе до рабочих параметров в случае его превышения свыше

расчетного. Таким образом в логике управления должен быть освещен пункт открытия задвижки на обводной линии при возникновении таких условий [5].

Отключение пожарных насосов происходит при отмене команды «Пожар» или при достижении в резервуарах противопожарного водоснабжения минимального уровня воды. Затем необходимо вернуть систему в режим циркуляции путем открытия задвижек на напорной линии циркуляционных насосов и пуска рабочей группы насосов циркуляции. Пуск процесса циркуляции особенно важен для районов Крайнего Севера в виду низких температур и возможности замерзания и вывода из строя всей системы противопожарного водоснабжения на объекте, что противоречит п.12.9 [1].

В современном проектировании для написания сложных алгоритмов управления требуется задать каждому элементу сети свой номер или тег. На приведенной схеме (рисунок) видно, что у каждого насоса и у каждой задвижки есть свой тег. Это нужно для управления отдельным элементом станции, чтобы алгоритм обращался к нужному элементу сети. Тегирование разрабатывается для каждого объекта индивидуально в зависимости от требований к проекту. В нашем случае используется простой алгоритм присвоения уникального номера, который несет в себе информацию о назначении системы, принадлежности оборудования к той или иной системе и порядковый номер, что позволяет легко ориентироваться рабочему персоналу, инженерам, а также дает возможность автоматически управлять определенными элементами сети. После завершения процесса тегирования обязательно производится проверка на дублирование тегов, чтобы исключить обращение алгоритма к двум элементам одновременно.

Далее предложен универсальный пошаговый шаблон логики управления работы противопожарной насосной станции на основе рисунка:

1. Снятие блокировки с противопожарного запаса воды.
2. Производится пуск насосов ВЗ-Н-001 и ВЗ-Н-002 и открытие задвижек ВЗ-З-0001 и ВЗ-З-0002 в течение 1 минуты. Отключение насосов ВЗц-Нц-001и ВЗц-Нц-002. Закрытие задвижек ВЗц-З-0001 и ВЗц-З-0002 (время закрытия согласно типу задвижки и расчету на гидроудар).
3. При достижении расчетного давления в системе ( $P_{расч.}$ ) открытие задвижки ВЗ-З-0004.
4. Автоматическое включение резервного насоса ВЗ-Н-003 при отключении (блокировке) работающего насоса или невключении одного из рабочих насосов. Открытие задвижки ВЗ-З-0003 в течение 1 минуты. Остановка пожарного насоса при невыходе на рабочий режим в течение 1-ой минуты.
5. Если насос включен как резервный на место вышедшего из строя основного насоса, то блокировка не должна влиять на его работу, насос отключится только при отмене сигнала «Пожар» или достижении минимального уровня в резервуаре Л1.
6. При достижении максимальной температуры подшипников насосов – отключение агрегатов ВЗ-Н-001, ВЗ-Н-002, ВЗц-Нц-001 и ВЗц-Нц-002, включение резервных насосов ВЗ-Н-003 и ВЗц-Нц-003. Закрытие задвижек ВЗ-З-0001, ВЗ-З-0002, ВЗц-З-0001 и ВЗц-З-0002.
7. Отмена сигнала «Пожар». Включение насосов ВЗц-Нц-001 и ВЗц-Нц-002. Открытие задвижек ВЗц-З-0001, ВЗц-З-0002 и ВЗц-З-0004. Выключение насосов ВЗ-Н-001 и ВЗ-Н-002 и закрытие задвижек ВЗ-З-0001 и ВЗ-З-0002.

## ВЫВОД

На полностью автоматизированных объектах водопроводно-канализационного хозяйства процессы, связанные с пуском, остановкой и контролем основных параметров работы должны быть организованы в строго установленной последовательности. Приведенная универсальная логика (последовательность действий) управления насосной станцией пожаротушения на промышленных предприятиях отражает основные этапы ее работы при возникновении пожара. Данный шаблон может быть использован проектировщиками и технологами как основа с индивидуальными дополнениями или исключениями в зависимости от условий проектирования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 8.13130.2020. Системы противопожарной защиты. Наружное противопожарное водоснабжение. Требования пожарной безопасности = The fire protection systems. Outdoor fire-fighting water supply. Fire safety requirements : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий от 30 марта 2020 г. N 225 : взамен СП 8.13130.2009 : дата введения 2020-09-30 / разработан ФГБУ ВНИИПО МЧС России. – Москва : Стандартинформ, 2020. – 18 с. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/565391175> (дата обращения: 11.09.2023). – Текст : электронный.

2. СП 31.13330.2021. СНиП 2.04.02-84\* Водоснабжение. Наружные сети и сооружения : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 27 декабря 2021 г. N 1016/пр : взамен СП 31.13330.2012 : дата введения 2011-12-29 / исполнитель Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН). – Москва : Минстрой России, 2021. – 155 с. – Текст : непосредственный.
3. Лютов, А. Г. Автоматизированная система диагностики и управления режимами работы насосного комплекса при нестационарных процессах / А. Г. Лютов, М. Б. Новоженин. – Текст : непосредственный // Вестник УГАТУ. – 2018. – Том 22, № 3 (81). – С. 114–123.
4. Ложные тревоги систем пожарной сигнализации / Н. А. Пашкевич, Е. А. Расцеккина, Е. Лытягин [и др.]. – Текст : непосредственный // Технические науки – от теории к практике. – 2012. – № 15. – С. 150-156.
5. Павлюченко, А. С. Современный подход к вопросу обвязки технологических узлов насосных станций пожаротушения / А. С. Павлюченко, Н. И. Григоренко, П. В. Полищук. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2021. – Выпуск 2021-5(151) Инженерные системы и технологическая безопасность. – С. 35–39. – URL: [http://donnasa.ru/publish\\_house/journals/vestnik/2021/vestnik\\_2021-5\(151\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2021/vestnik_2021-5(151).pdf) (дата публикации: 15.11.2021).

Получена 17.10.2023

Принята 27.10.2023

О. С. ПАВЛЮЧЕНКО <sup>a</sup>, Н. И. ГРИГОРЕНКО <sup>b</sup>  
СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО РОЗРОБКИ ЛОГІКИ УПРАВЛІННЯ НАСОСНОЮ  
СТАНЦІЄЮ ПОЖЕЖОГАСІННЯ

<sup>a</sup> АТ «НІПГазпереробка», Російська Федерація, Донецька Народна Республіка,  
м. Донецьк;

<sup>b</sup> ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», Російська  
Федерація, Донецька Народна Республіка, м. о. Макіївський, м. Макіївка

**Анотация.** В умовах сучасних реалій роботи інженерів-проектувальників та технологів водопостачання і водовідведення особливу увагу необхідно приділяти питанням автоматизації роботи проєктованих об'єктів, у тому числі насосних станцій пожежогасіння промислових підприємств. Основним документом, який відображає завдання для інженерів КВП з встановлення датчиків, організації роботи системи та пуско-налагоджувальних робіт є «логіка управління». Дані з проєктування логіки описані дуже поверхово і не дають уявлення про її основні етапи та порядок складання. У цій статті наведено універсальну логіку управління насосною станцією пожежогасіння на промислових підприємствах, яка відображає основні етапи її роботи при виникненні пожежі. Цей шаблон може бути використаний проєктувальниками та технологами як основа з індивідуальними доповненнями або винятками залежно від умов проєктування.

**Ключові слова:** пожежогасіння, пожежні насоси, автоматизація, логіка управління, тег, теґування.

ALEKSANDR PAVLUCHENKO <sup>a</sup>, NADEZHDA GRIGORENKO <sup>b</sup>  
A SYSTEMATIC APPROACH TO THE DEVELOPMENT OF CONTROL LOGIC  
FOR A FIRE EXTINGUISHING PUMPING STATION

<sup>a</sup> JSC «NIPGazpererabotka», Russian Federation, Donetsk;

<sup>b</sup> FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian  
Federation, Makeevka

**Abstract.** In the conditions of modern realities of the work of design engineers and water supply and drainage technologists, special attention should be paid to the issues of automation of the operation of the designed facilities, including fire pump stations of industrial enterprises. The main document that reflects the task for the instrumentation engineers for the installation of sensors, organization of system operation and commissioning is «control logic». The design data of logic are described very superficially and do not give an idea of its main stages and order of compilation. This article presents the universal control logic of the fire pump station at industrial enterprises, which reflects the main stages of its operation in the event of a fire. This template can be used by designers and technologists as a basis with individual additions or exceptions depending on the design conditions.

**Keywords:** firefighting, fire pumps, automation, control logic, tag, tagging.

**Павлюченко Александр Сергеевич** – ведущий инженер АО «НИПИгазпереработка». Научные интересы: проектирование систем водоснабжения и водоотведения, насосных станций, очистка сточных вод.

**Григоренко Надежда Ивановна** – кандидат технических наук, доцент кафедры водоснабжения, водоотведения и охраны водных ресурсов ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: проектирование систем водоснабжения и водоотведения, очистка сточных вод.

**Павлюченко Олександр Сергійович** – провідний інженер АТ «НІПІгазпереробка». Наукові інтереси: проектування систем водопостачання і водовідведення, насосних станцій, очищення стічних вод

**Григоренко Надія Іванівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри водопостачання, водовідведення та охорони водних ресурсів ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: проектування систем водовідведення, очищення стічних вод.

**Pavluchenko Aleksandr** – Lead Engineer at JSC «NIPIGazpererabotka». Scientific interests: design of water supply and water disposal systems, design of pump station, wastewater treatment.

**Grigorenko Nadezhda** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Water Supply, Sanitation and Protection of Water Resources Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: design of water supply and water disposal systems, wastewater treatment.



EDN: XRSXVG

УДК 697.432 + 662.611

**А. В. ЛУКЬЯНОВ, Д. Э. РЫБАК**ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевский, г. Макеевка

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОВ МАЛОЙ МОЩНОСТИ ДЛЯ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

**Аннотация.** Коммунальная теплоэнергетика относится к наиболее сложным в инженерном плане и важным по воздействию на окружающую среду видам деятельности, активно влияет на экологию и имеет значительный социальный и экономический эффект в жилищно-коммунальном хозяйстве. Для определения экономико-экологической эффективности теплогенераторов малой мощности при доставке теплоты потребителям были выполнены исследования по внедрению автономных систем теплоснабжения квартала Черемушки в г. Амвросиевка ДНР. Рассмотрены вопросы использования теплогенераторов малой мощности для автономных систем теплоснабжения с точки зрения экологической безопасности, как потребителей теплоты, так и окружающей среды. Приведенные данные исследований определяют необходимость комплексного подхода (экономического, экологического и технологического) при выборе вариантов источников тепловой энергии систем теплоснабжения отдельных потребителей.

**Ключевые слова:** экологический мониторинг, токсичные выбросы, автономные источники теплоты, сгорание топлива, газотрубные теплогенераторы, вредные выбросы, модульные котельные.

### **ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Коммунальная теплоэнергетика относится к наиболее сложным в инженерном плане и важным по воздействию на окружающую среду видам деятельности, активно влияет на экологию и имеет значительный социальный и экономический эффект в жилищно-коммунальном хозяйстве.

В настоящее время общие потери тепловой энергии в различных тепловых хозяйствах страны начиная от сжигания топлива и заканчивая потреблением тепла достигают 51 % удельной теплоты сгорания топлива. Такие потери тепла связаны со слабой технической оснащенностью хозяйств, занимающихся производством, транспортировкой, распределением и потреблением тепла. В большинстве тепловых хозяйств используется устаревшее оборудование, не отвечающее современным требованиям. Поэтому основными тенденциями мирового научно-технического направления в данной области является снижение затрат при выработке тепловой энергии за счет повышения КПД котельного оборудования; совершенствование технологии сжигания топлива в горелочных устройствах; создание новых типов котельного оборудования, способного сжигать дешевые нетрадиционные виды топлива.

В последнее время получило распространение использование малогабаритных газотрубных котлов для автономных систем теплоснабжения. При разработке и создании нового оборудования, использующего органическое топливо, основными требованиями являются эффективное использование топлива и снижение выбросов вредных веществ.

Защита окружающей среды является одной из самых главных проблем человечества. Население крупных городов дышит воздухом, загрязненным токсичными и канцерогенными веществами. Энергосбережение и применение современных методов снижения вредных выбросов способствует оздоровлению воздушного бассейна городов и пригородов.



## АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Осложнение экологического состояния повлекло необходимость разработки мер по предотвращению принятия экологически непонятных решений. Еще с конца 60-х годов 20-го века появляются работы, освещающие вопросы влияния коммунальной теплоэнергетики на окружающую среду [1, 2, 3, 4]. Однако эти публикации рассматривали выбросы теплогенераторами средней и большой мощности (тепловых электростанций и крупных районных котельных).

Для теплогенераторов малой мощности нет данных по выбросам, а отсутствие контроля в данном вопросе обостряет и без того опасную экологическую обстановку, что сложилась в настоящее время.

Материалы статьи основаны на результатах исследований, которые выполнялись в соответствии с приоритетными научно-техническими направлениями науки и техники в рамках проектов «разработка и усовершенствование экотехнологических процессов утилизации теплоты и использования нетрадиционных источников энергии», «создание теоретических и технологических основ разработки систем автономного теплоснабжения».

Для предприятий коммунальной теплоэнергетики при определении выбросов продуктов сгорания до 2002 года пользовались материалами [5]. Эта методика была предназначена для определения выбросов от котлов средней и большой мощности тепловых электростанций и районных котельных. К тому же она не учитывала модернизацию оборудования.

Согласно современным требованиям разработана методика по определению выбросов загрязняющих веществ [6], но и она не лишена серьезных изъянов.

В настоящее время для снабжения потребителей теплотой используются различные локальные системы теплоснабжения: поквартирное отопление; автономные котельные.

При выборе источника тепловой энергии до настоящего времени используется технико-экономическое сравнение вариантов, а экологические аспекты, как правило, не учитываются. А эти аспекты определяют санитарно-гигиенические условия, как окружающей среды, так и внутренних помещений потребителей.

## ЦЕЛИ

Целью данной статьи является обоснование важности учета экологических аспектов при внедрении теплогенераторов малой мощности в автономных системах теплоснабжения.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для определения экономико-экологической эффективности теплогенераторов малой мощности при доставке теплоты потребителям были выполнены исследования по внедрению автономных систем теплоснабжения квартала Черемушки в г. Амвросиевка ДНР. Квартал в настоящее время получает тепловую энергию в виде горячей воды с параметрами 150/70 °С от центральной котельной – 3, которая оснащена водогрейными водотрубными теплогенераторами ТВГ – 4р и КВГ – 6,5. Годовой расход природного газа центральной котельной – 3 120,5 тыс. м<sup>3</sup>/год.

Вторым вариантом теплоснабжения потребителей является внедрение модульных котельных, оборудованных прямоточными теплогенераторами «Бернард-120» с единичной тепловой мощностью 120 кВт и КПД 94 %. Модульные котельные устанавливаются непосредственно возле потребителей. Годовой расход природного газа при использовании теплогенераторов «Бернард-120» составит 34,15 тыс. м<sup>3</sup>/год, то есть расход топлива сократился на 86,35 тыс. м<sup>3</sup>. Применение модульных котельных у потребителей ликвидирует внешние тепловые сети, а значит и потери теплоты в них, транспортные расходы на доставку теплоносителя. Модульные котельные работают в автоматическом режиме, а это позволяет сократить эксплуатационные расходы.

Как видим, технико-экономическое сравнение центральной котельной с модульными котельными говорит в пользу применения модульных котельных.

Следующим этапом исследований было определение экологической эффективности работы рассматриваемых вариантов источников теплоты. Исследования проводились по определению концентраций токсичных (СО, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>) и парниковых газов в выбросах продуктов сгорания. В данной статье приведены результаты исследований концентраций диоксида азота NO<sub>x</sub>, как наиболее токсичного вещества в продуктах сгорания природного газа.

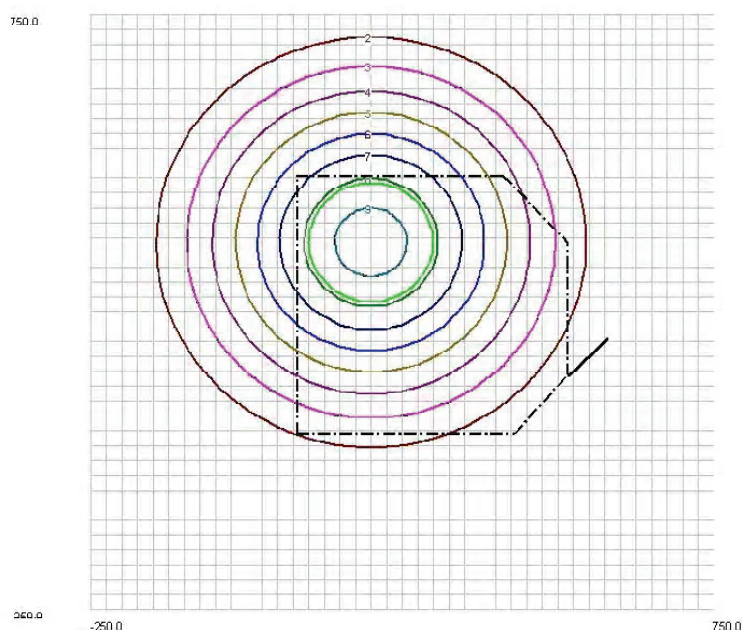
Аналитические методы определения выброса загрязняющего вещества в методике [6], базируются на использовании показателя эмиссии. По методике [7] валовой выброс  $j$ - $i$  загрязняющего вещества  $E_j$ , т, которое поступает в атмосферу с дымовыми газами теплогенератора за промежуток времени  $T$ ,

$$E_j = \sum_i E_{ji} = 10^{-6} \sum_i k_{ji} B_i (Q_i^r), \quad (1)$$

где  $E_{ji}$  – валовой выброс  $j$ -го загрязняющего вещества при сжигании  $i$ -го топлива за промежуток времени  $T$ , т;  
 $k_{ji}$  – показатель эмиссии  $j$ -го загрязняющего вещества для  $i$ -го топлива, г/ГДж;  
 $B_i$  – расход  $i$ -го топлива за промежуток времени  $T$ , т;  
 $(Q_i^r)$  – низшая рабочая теплота сгорания  $i$ -го топлива, МДж/кг.

Показатель эмиссии загрязняющего вещества определяется для каждого вещества индивидуально по формулам, приведенным в методике [7]. С помощью формулы (1) были определены концентрации диоксидов азота  $NO_x$  в выбросах центральной котельной и модульных котельных.

По определенным концентрациям и климатологическим характеристикам (направленность и скорость ветра, координаты источников тепловой энергии) по экологическим программам были определены изолинии концентраций оксидов азота  $NO_x$  и построены карты-схемы экологического мониторинга вариантов источников тепловой энергии (рис. 1, 2).



**Рисунок 1** – Концентрация оксида азота  $NO_x$  в продуктах сгорания центральной котельной: 1 – 1,13 ПДК; 2 – 1,00 ПДК; 3 – 0,87 ПДК; 4 – 0,73 ПДК; 5 – 0,60 ПДК; 6 – 0,47 ПДК; 7 – 0,33 ПДК, 8 – 0,20 ПДК; 9 – 0,068 ПДК.

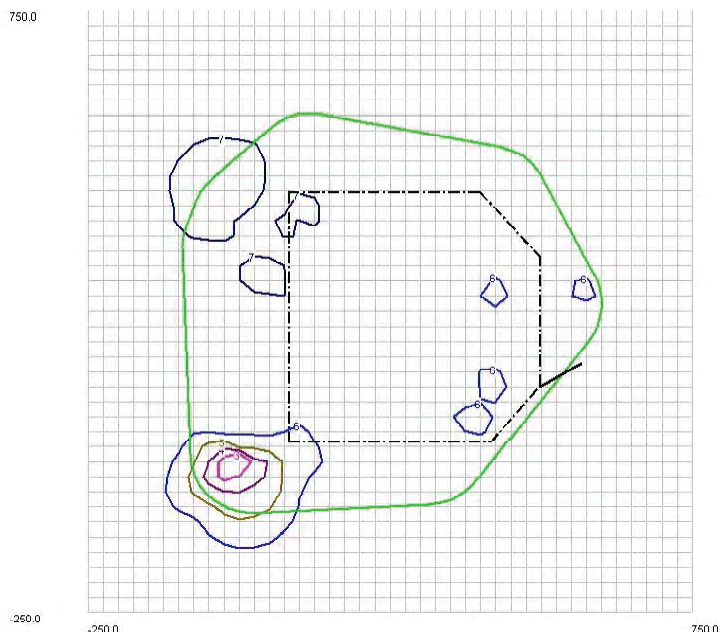
Анализ карт-схем экологического мониторинга показывает, что при использовании центральной котельной (рис. 1) концентрации оксида азота  $NO_x$  превышают предельно допустимые концентрации (ПДК) только по изолинии 1. Эта изолиния (не вошла на рисунок) находится уже за пределами квартала, то есть, учитывая экологическую безопасность использования центральной котельной для теплоснабжения квартала является возможным.

Карта-схема экологического мониторинга модульных котельных (рис. 2) показывает, что зоны, в которых концентрация оксидов азота  $NO_x$  превышает ПДК, находящиеся как в пределах квартала (изолинии 6), так и за пределами (изолинии 1, 2, 3, 4, 5).

Это можно объяснить хаотичным расположением модульных котельных, не учитывающим архитектурную планировку уже существующих зданий; свойства климатических условий местности.

## ВЫВОДЫ

Проведенные исследования дают возможность утверждать, что при внедрении автономных систем теплоснабжения следует учитывать климатологические характеристики местности, выбирать место расположения миникотельных, согласно карт-схем экологического мониторинга.



**Рисунок 2** – Концентрация оксида азота NOx в продуктах сгорания модульных котельных: 1 – 1,97 ПДК; 2 – 1,78 ПДК; 3 – 1,59 ПДК; 4 – 1,40 ПДК; 5 – 1,21 ПДК; 6 – 1,02 ПДК; 7 – 0,82 ПДК; 8 – 0,63 ПДК; 9 – 0,44 ПДК.

Использование карт-схем экологического мониторинга позволяет не только определять места расположения миникотельных, но и места строительства зданий различного назначения при уже существующих источниках тепловой энергии.

Таким образом, проведенные исследования показали, что для выбора оптимального варианта источников тепловой энергии потребителей нужно проводить не только технико-экономическое сравнение, но и экологический мониторинг влияния выбросов котельных на окружающую среду.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арский, Ю. М. Экологическая экспертиза / Ю. М. Арский. – Москва : ВИНТИ, 1992. – 80 с. – Текст : непосредственный.
2. Кривоногов, Б. М. Повышение эффективности сжигания газа и охрана окружающей среды / Б. М. Кривоногов. – Ленинград : Недра. Ленингр. отд-ние, 1986. – 280 с. – Текст : непосредственный.
3. Отопительное оборудование и экология. – Текст : электронный // Сахнснабсервис : [сайт]. – 2023. – URL: <https://www.sakhsnabservice.ru/ecology/> (дата обращения: 11.04.2023).
4. Котлы отопления и их влияние на экологию. – Текст : электронный // Арболит : [сайт]. – 2007–2022. – URL: <http://www.arbolit.net/kotly-otoplenija-i-ih-vlijanie-na-jekologiju.html> (дата обращения: 11.04.2023).
5. Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами / Государственный комитет по гидрометеорологии и контролю природной среды. – Ленинград : Гидрометеоиздат. – 1986. – 183 с. – Текст : непосредственный.
6. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от энергетических установок / Министерства топлива и энергетики. – Киев : издательство Министерства топлива и энергетики, 2002. – 44 с. – Текст : непосредственный.
7. О промышленных выбросах (о комплексном предотвращении загрязнения и контроле над ним) = [Directive of the European Parliament and of the Council on industrial emissions (integrated pollution prevention and control)]: Директива № 2010/75/ЕС Европейского парламента и Совета Европейского союза : взамен Директива 78/176/ЕС от 20 февраля 1978 г. / перевод И. В. Артамоновой. – Страсбург : [б. и.], 2010. – 87 с.

Получена 19.09.2023

Принята 27.10.2023

О. В. ЛУК'ЯНОВ, Д. Е. РИБАК  
ЕКОЛОГІЧНІ ПИТАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРІВ МАЛОЇ  
ПОТУЖНОСТІ ДЛЯ АВТОНОМНИХ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ  
ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», Російська  
Федерація, Донецька Народна Республіка, м. о. Макіївський, м. Макіївка

**Анотація.** Комунальна теплоенергетика належить до найскладніших в інженерному плані та важливих за впливом на довкілля видів діяльності, активно впливає на екологію та має значний соціальний та економічний ефект у житлово-комунальному господарстві. Для визначення економіко-екологічної ефективності теплогенераторів малої потужності при доставці тепла споживачам були виконані дослідження по впровадженню автономних систем теплопостачання кварталу Черемушки в м. Амвросіївка ДНР. Розглянуті питання використання теплогенераторів малої потужності для автономних систем теплопостачання з точки зору екологічної безпеки, як споживачів тепла, так і довкілля. Наведені дані досліджень визначають необхідність комплексного підходу (економічного, екологічного та технологічного) при виборі варіантів джерел теплової енергії систем теплопостачання окремих споживачів.

**Ключові слова:** екологічний моніторинг, токсичні викиди, автономні джерела тепла, згоряння палива, газотрубні теплогенератори, шкідливі викиди, модульні котельні.

ALEXANDER LUKYANOV, DANIL RYBAK  
ENVIRONMENTAL ISSUES OF THE USE OF LOW-POWER HEAT  
GENERATORS FOR AUTONOMOUS HEAT SUPPLY SYSTEMS  
FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian  
Federation, Makeevka

**Abstract.** The municipal heat and power sector is one of the most complex and environmentally impact full areas of engineering, with significant social and economic effects on housing and communal services. To determine the economic and environmental efficiency of low-power heat generators in delivering heat to consumers, studies were conducted on the implementation of autonomous heating systems in the Cheremushki district of Amvrosievka, DPR. The use of low-power heat generators for autonomous heating systems was examined from the perspective of both consumer and environmental safety. The data from these studies indicate the need for a comprehensive approach (economic, environmental, and technological) when selecting options for heating sources for individual consumers' heating systems.

**Keywords:** environmental monitoring, toxic emissions, autonomous heat sources, fuel combustion, gas-tube heat generators, harmful emissions, modular boiler houses.

**Лукьянов Александр Васильевич** – доктор технических наук, профессор; декан факультета инженерных и экологических систем в строительстве ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: автономные системы теплоснабжения, источники теплоты.

**Рыбак Данил Эдуардович** – ассистент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: водоподготовка и водно-химические режимы в системах теплоснабжения.

**Лук'янов Олександр Васильович** – доктор технічних наук, професор; декан факультету інженерних та екологічних систем у будівництві ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: автономні системи теплопостачання, джерела теплоти.

**Рыбак Данило Эдуардович** – ассистент кафедры теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: водопідготовка та водно-хімічні режими у системах теплопостачання.

**Lukyanov Alexander** – D. Sc. (Eng.), Professor; Dean of the Faculty of Engineering and Environmental Systems in Construction, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: include autonomous heating systems and heat sources.

**Rybak Danil** – assistant, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: include water treatment and water-chemical modes in heating systems.

EDN: YRDNYA

УДК621.383.51.002.84 + 662.997

**С. Е. АНТОНЕНКО, В. О. ДОРОХИН**ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевский, г. Макеевка

## **МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ПЕРЕРАБОТКИ И УТИЛИЗАЦИИ СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ**

**Аннотация.** Эффективное использование солнечной энергии постепенно становится предметом исследований. По прогнозам к 2050 году на Земле скопится порядка 60...78 миллионов тонн старых солнечных панелей, если уже сейчас не начать их грамотную утилизацию. Ученые и инженеры решают эту проблему, разрабатывают соответствующие технологии, утверждают стандарты. В большинстве стран мира солнечные панели классифицируются как общие или промышленные отходы, кроме того в разных странах разрабатываются добровольные и нормативные подходы для специального управления «солнечным мусором». В настоящее время распространена грубая переработка с извлечением только стекла и алюминия. Тонкая переработка предполагает извлечение из фотоэлементов практически всех составных частей и их обработку. Для утилизации солнечных панелей на западных рынках появились коммерческие компании-переработчики. Переработка солнечных панелей позволяет уменьшить углеродный след, снизить стоимость производства за счет повторного использования материалов, миллионы тонн потенциальных отходов не попадают на свалки.

**Ключевые слова:** солнечные панели, переработка, утилизация.

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

С 1980-х годов ископаемое топливо, индустриализация и быстрый рост населения привели к трем глобальным проблемам: нехватке энергии, экологическому ущербу и загрязнению окружающей среды. Перед лицом все более серьезных энергетических и экологических проблем солнечная, которая является универсальной, безопасной, богатой ресурсами и не загрязняющей окружающую среду, привлекает все большее внимание как экологически чистый источник энергии.

Эффективное использование солнечной энергии постепенно становится предметом исследований. Изобретение и производство солнечных элементов в некоторой степени смягчили текущую ситуацию нехватки энергии в мире. По мере того, как люди начинают уделять особое внимание вопросам энергетики, индустрия солнечной фотоэлектрики получила мощную поддержку со стороны стран по всему миру. Производство солнечных элементов по всему миру стремительно растет (рис. 1). Сегмент солнечных элементов в 2021 году продолжил ключевое расширение 2020 года, значительно увеличив производственные мощности. Общая мировая производственная мощность кристаллических кремниевых солнечных элементов достигла 423,5 ГВт – годовой прирост на 69,8 %. Общий объем производства составил 223,9 ГВт, увеличившись на 37 % в годовом исчислении по данным Китайской ассоциации фотоэлектрической промышленности.

Прогнозируется, что до 2030 года количество солнечных элементов продолжит расти со скоростью ~25 %. В 2017 году глобальная установленная мощность солнечных элементов превысила 90 ГВт, из которых Китай выделил 48 ГВт, США – 12,5 ГВт, Индия – 10 ГВт и Япония – 6,8 ГВт. Прогнозируется, что глобальная установленная мощность солнечной энергетики достигнет к 2050 году 4 500 ГВт (против 400 ГВт сегодня) [1]. Развитие солнечной энергетики, со временем, создает новую проблему – утилизацию отработавших срок солнечных панелей. По прогнозам к 2050 году на Земле скопится порядка 60...78 миллионов тонн старых солнечных панелей [2], если уже сейчас не



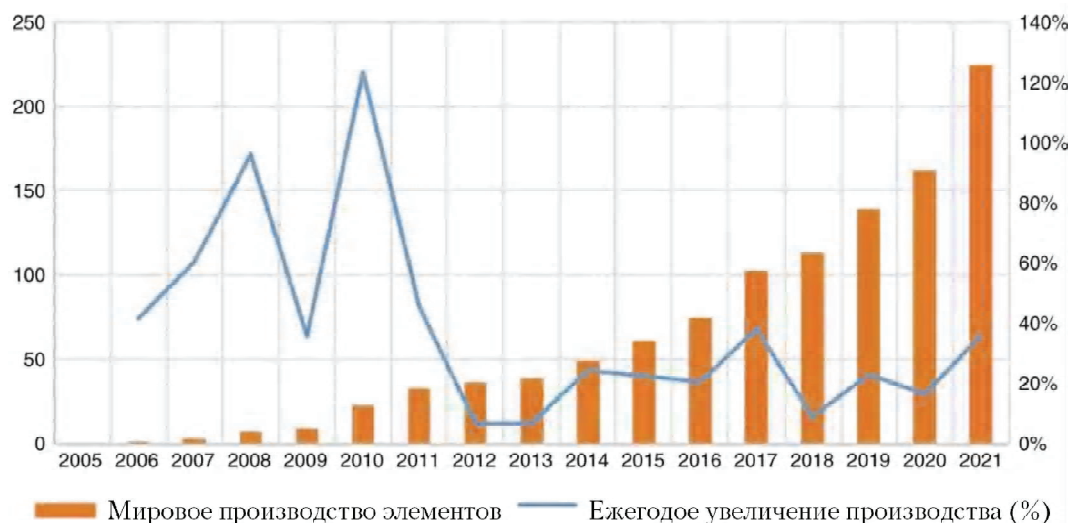


Рисунок 1 – Производство солнечных элементов по всему миру.

начать их грамотную утилизацию. Ученые и инженеры решают эту проблему, разрабатывают соответствующие технологии, утверждают стандарты.

### ЦЕЛИ

Необходимо изучить международный опыт утилизации солнечных элементов и возможность его применения в отечественной практике.

### ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Солнечная энергетика – молодая отрасль и пока не успела сильно намусорить. В то же время, она быстро развивается. Глобальная установленная мощность растет экспоненциально. Поэтому через 10–15 лет проблема утилизации солнечных панелей встанет в полный рост (рис. 2, рис. 3) [1, 2].

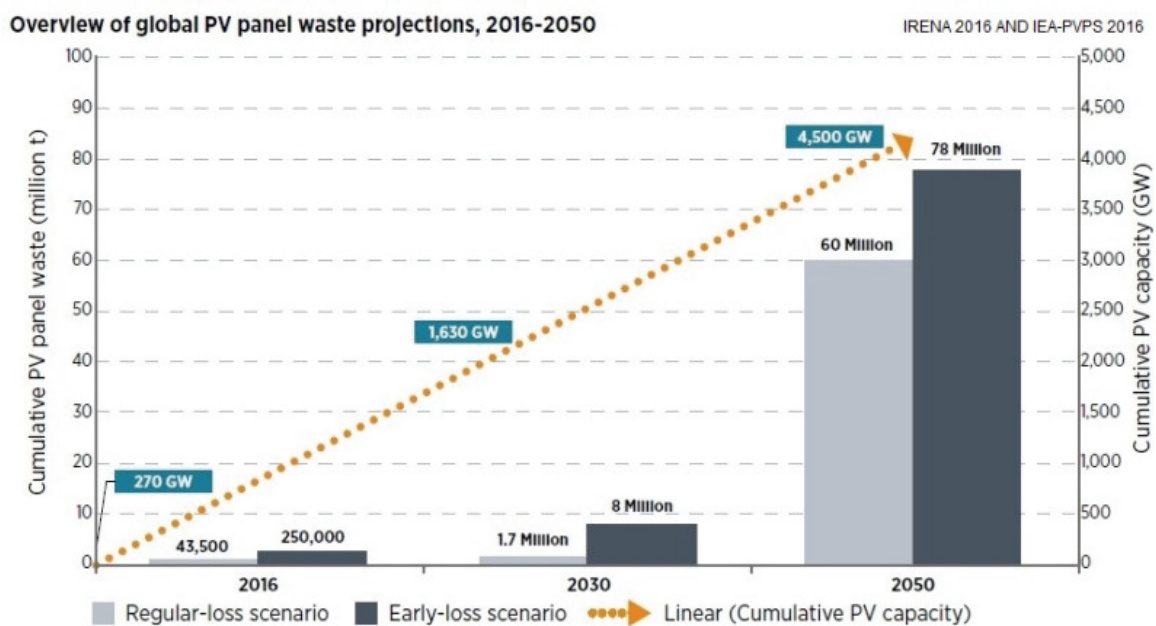
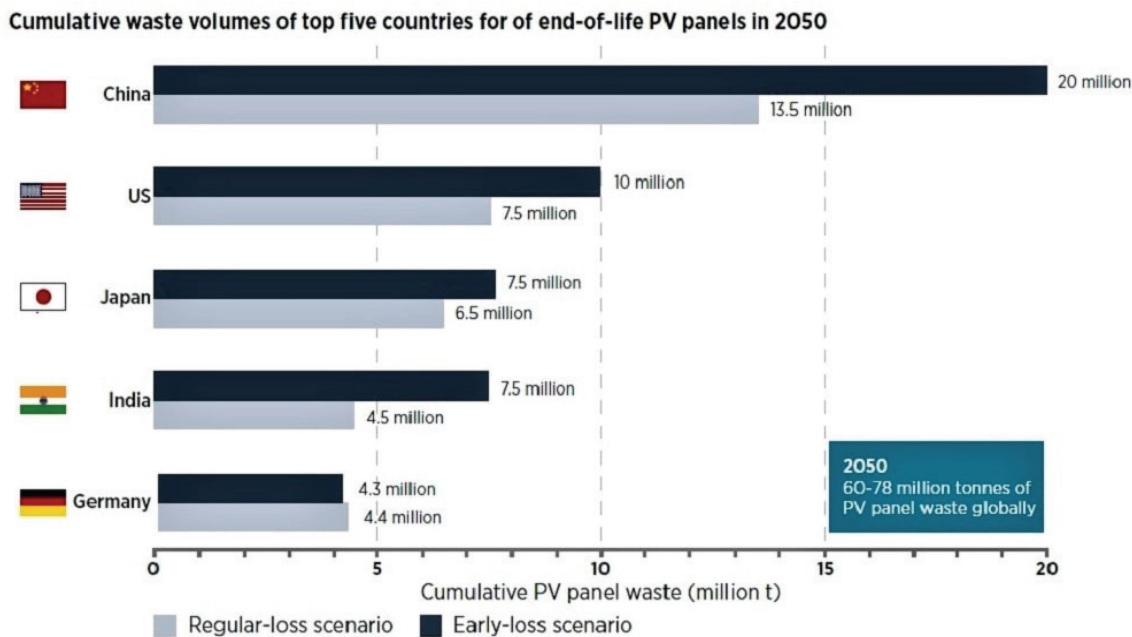


Рисунок 2 – Прогноз увеличения объема отходов фотоэлектрических панелей [2].



**Рисунок 3** – Накопительные отходы фотоэлектрических панелей (млн тонн) в разрезе стран-лидеров [2].

Использованные, отработавшие свое солнечные модули в Европе традиционно относят к категории электронного мусора (e-waste). В большинстве стран мира солнечные панели классифицируются как общие или промышленные отходы, управление ими осуществляется в соответствии с обычными требованиями, касающимися обработки и утилизации отходов. Помимо такого универсального регулирования в разных странах разрабатываются добровольные и нормативные подходы для специального управления «солнечным мусором».

К примеру, Европейский союз первым ввел правила утилизации отходов солнечных электростанций – модули должны утилизироваться в соответствии с Директивой об отходах электрического и электронного оборудования (WEEE) (2012/19/EU). С 2012 года положения Директивы WEEE были включены в национальное законодательство странами-членами ЕС, создав первый рынок, на котором переработка солнечных модулей обязательна.

В Соединенных Штатах утилизация панелей регулируется Законом о сохранении и восстановлении ресурсов (Resource Conservation and Recovery Act), который является правовой основой для управления опасными и неопасными отходами.

В Китае пока нет специальных правил по утилизации солнечных модулей, 70 % отработанных солнечных панелей в Китае просто выбрасывают из-за высокой стоимости переработки.

В Индии отходы фотоэлектрической энергетики управляются Министерством окружающей среды, лесов и изменения климата в соответствии с Правилами обращения с твердыми отходами 2016 года и Правилами опасными и другими отходам (управление и трансграничное перемещение).

В Японии отработанные солнечные панели подпадают под общие регламенты по управлению отходами (Waste Management and Public Cleansing Act). В 2017 году японская Ассоциация солнечной энергетики (Japan Photovoltaic Energy Association – JPEA) опубликовала руководство по надлежащему обращению с солнечными модулями по окончании срока их службы, но документ имеет рекомендательный характер. Дополнительно, Национальный институт передовых промышленных наук и технологий (NEDO) разрабатывает технологию переработки [3]. В 2016 году была опубликована совместная работа IRENA (Международного агентства возобновляемой энергетики) и МЭА (Международного энергетического агентства) «End-of-Life Management: Solar Photovoltaic Panels» [2], в которой подробно описываются технологии и стратегии утилизации фотоэлектрических модулей.

Утилизация солнечных панелей зависит от рассмотренных сценариев (regularloss – использование модулей в течение 30-летнего срока службы, earlyloss – раннее окончание рока службы по разным причинам, например, замена морально устаревшего оборудования на более современное). Повод для беспокойства есть, поскольку эти приборы не так уж безопасны. Правильная утилизация



таких специфических отходов необходима, в противном случае тяжелые металлы, содержащиеся в фотоэлементах, без правильной утилизации будут выделяться в окружающую среду, что приведет к неблагоприятным последствиям для экологии.

Кроме того, грамотная утилизация солнечных батарей позволит сохранить и повторно использовать редкие природные элементы. Некоторые составляющие солнечных электростанций можно использовать повторно, однако создание специализированной инфраструктуры для переработки фотоэлементов только набирает обороты.

Некоторые зарубежные компании пытаются отремонтировать и повторно использовать панели, которые потеряли эффективность, или, по крайней мере, спасти некоторые из их компонентов. Повторное использование – это самый простой и дешевый способ «переработать» панели – он требует наименьшей обработки и наиболее экономически эффективен. Когда панель достигает гарантийного срока службы – это не значит, что она не может производить энергию. Несмотря на снижение эффективности, использованные панели могут быть установлены на волонтерских проектах, что и предлагает компания WFTSS в Мексике. WFTSS сотрудничает с волонтерской организацией, которая строит дома примерно в 20 странах для нуждающихся людей, включая Мексику. В Соединённых Штатах Америки есть компании, которые предлагают услуги по перепрофилированию и повторному использованию солнечных панелей. Сначала панели оценивают, потом ремонтируют. Поскольку эти модули отремонтированы, они продаются по более низкой цене по сравнению с новыми панелями (от 0,05 до 0,15 долларов США за ватт) [4]. Однако такой подход проблему утилизации не решает, а только ее отсрочивает.

Китай, США, Япония, страны ЕС активно инвестируют в исследования и разработки по переработке солнечных панелей. На сегодняшний день различают два вида переработки – тонкую и грубую [5].

– Грубая переработка. Предполагает извлечение лишь основных материалов – стекла, алюминия. Сегодня это предпочтительный способ переработки, однако, он не позволяет должным образом обработать ценные и опасные отходы солнечной энергетики.

– Тонкая переработка. Предполагает извлечение из фотоэлементов практически всех составных частей и их обработку. Сначала выполняется удаление рамы и распределительной коробки, далее удаляется ламинирующая плёнка, извлекается стекло, металлы, кремниевые элементы, пластик.

При тонкой переработке возможно извлечение всех химических элементов. В состав солнечных модулей входит сырьё, которое можно использовать вторично. Так, в процентном соотношении панель из кристаллического кремния – это 76 % стекла, 10 % полимерных материалов, 8 % алюминия, 5 % кремниевых полупроводников, 1 % меди, менее 0,1 % серебра, олова и свинца. В тонкопленочных модулях доля стекла гораздо выше – 89 % (CIGS) и 97 % (CdTe) [4].

Для того чтобы чистые затраты на вывод из эксплуатации были отрицательными (окупались), стоимость извлеченных материалов и/или стоимость освобожденной земли должны превышать затраты на вывод из эксплуатации. С одной стороны, полный демонтаж фотоэлектрической солнечной электростанции – достаточно простая операция, поскольку здесь нет капитальных строений с серьезными фундаментами. С другой стороны, на таких объектах используется большое количество стали, меди и алюминия, и ценность этих материалов вполне может превышать расходы на вывод эксплуатации.

Действительно, недавний экономический анализ показывает, что стоимость лома фотоэлектрической электростанции (в основном сталь и медь) превышает затраты на вывод из эксплуатации, что делает переработку предпочтительнее захоронения отходов.

В сценариях глубокой переработки чистый доход в результате работ по выводу объекта из эксплуатации может составлять US\$0,01–0,02/Ватт (без учета стоимости земли).

Таким образом, при надлежащей организации переработка отходов солнечных электростанций может быть выгодной даже без дополнительных мер стимулирования/регулирования.

На обычных фабриках по переработке электронных отходов с панелями не церемонятся: снимают металлическую раму и коммутационный модуль, чтобы отделить алюминий и медь, а затем пропускают всё остальное – стекло, полимеры, кремниевые ячейки – через огромный шредер. Получается масса битого стекла с небольшой долей примесей. По оценкам специалиста по солнечной энергетике из Университета Аризоны Менга Тао (Meng Tao), за стандартную панель из 60 ячеек, а точнее за содержащийся в ней алюминий, медь и стекло, переработчик может получить около \$3. При этом Сэм Вандерхуф из Recycle PV оценивает стоимость самой переработки до \$25 (если включать расходы на транспортировку). В то же время просто свалить панель на свалку, как твёрдые отходы, стоит меньше доллара [4].

Немцы преуспели в процессе переработки солнечных панелей, они наравне с североамериканцами были первооткрывателями в данной сфере. В Германии распространена та же технология переработки тонкопленочных солнечных панелей, что и в США, то есть переработка всех элементов панелей в едином цикле. Технология налажена – процесс переработки стал более экологичен и менее энергозатратный, нежели производство первичного сырья для фотоэлектрических панелей.

ЕС инвестирует значительные средства в проекты по утилизации солнечных панелей. Один из таких проектов – ELSi, которым занимается немецкая компания GeltzUmwelt-Technologie. Суть их технологии переработки заключается в повторном использовании материалов (а это около 95 %), извлеченных из солнечных панелей. Производительность предприятия – 50 тысяч солнечных панелей в год.

В 2018 году французская компания Veolia открыла промышленное предприятие, находящееся в Руссе, в регионе Буш-дю-Рон во Франции, по вторичной переработке солнечных панелей. Ранее во Франции, использованные или сломанные солнечные панели попросту перерабатывались установками для вторичной переработки стекла общего назначения. При таком процессе удавалось извлечь стекло и алюминиевые рамы, все остальное сжигалось. Сейчас же на новом заводе Veolia роботы разбирают панели для извлечения стекла, кремния, пластмассы, меди и серебра. Затем эти элементы измельчают в гранулы и подают как готовое сырье для производства новых солнечных панелей [6].

В настоящее время уровень переработки солнечных панелей в Великобритании относительно ограничен: несколько компаний предоставляют услуги и неадекватная инфраструктура для управления растущим объемом солнечных отходов. Среди известных фирм, предлагающих услуги по переработке в Великобритании **H & H Pro, ILM Highland и Recycle Solar Technologies**. По оценкам, в течение следующего десятилетия в Великобритании будет образовано 30 000 тонн отходов. Кроме того, ожидается всплеск спроса на панели, которые появятся на рынке в 2030-х годах, поскольку старые солнечные панели эпохи тысячелетия начнут приходить в негодность. Это создает спрос на сектор переработки панелей для расширения его возможностей по управлению растущим числом устаревших панелей и оказанию помощи в производстве солнечных панелей [7].

Как правило, утилизация осуществляется на заводах по переработке стекла и металла. В США и Европе владельцы солнечных панелей обязаны утилизировать вышедшие из строя фотоэлементы, что закреплено законодательно. Благодаря этому на западных рынках появились коммерческие компании-переработчики [5].

Переработка солнечных панелей – это беспроигрышный вариант: производители получают услугу по утилизации своих непригодных панелей и преимущество на рынке («мы перерабатываем»); установщики экономят время и деньги, которые им пришлось бы потратить на вывоз выведенных из эксплуатации панелей на свалку; опасные вещества содержатся и обрабатываются безопасно; углеродный след уменьшается, поскольку элементы и компоненты используются повторно, а не производятся с нуля; и, в совокупности, миллионы тонн потенциальных отходов удаляются со свалок.

## ВЫВОДЫ

Пока солнечная энергетика в России только набирает обороты, срок действия большинства эксплуатируемых панелей еще далеко не выработан, проблема утилизации и переработки солнечных батарей не ощущается остро. Однако в ближайшие 20–30 лет она даст о себе знать. В России стоимость переработки солнечных панелей пока превышает прибыль, которую можно получить, поэтому большинство использованных фотоэлементов попадают на свалку. Необходимо заниматься решением данной проблемы уже сейчас, особенно учитывая экологическую обстановку нашего региона.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сидорович, В. Утилизация солнечных модулей (панелей). Проблемы, регулирование, практика / В. Сидорович. – Текст : электронный // renen.ru : [сайт]. – 14.03.2018. – URL: <https://renen.ru/pv-recycling-problems-regulation-practice/> (дата обращения: 19.09.2023).
2. End-of-Life Management Solar PV Panels. – Текст : электронный // IRENA and IEA PVPS. International Renewable Energy Agency : [сайт]. – 2016. – 100 p. – URL: [https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA\\_IEAPVPS\\_End-of-Life\\_Solar\\_PV\\_Panels\\_2016.pdf](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2016/IRENA_IEAPVPS_End-of-Life_Solar_PV_Panels_2016.pdf) (дата обращения: 19.09.2023).
3. Солнечный мусор: утилизация солнечных панелей. – Текст : электронный // Livejournal : [сайт]. – 26.02.2019. – URL: <https://coal-liza.livejournal.com/53251.html> (дата обращения: 19.09.2023).
4. Ваш солнечный дом: Утилизация солнечных панелей. – Текст : электронный // Ваш солнечный дом : [сайт]. – 24.12.2022. – URL: <https://www.solarhome.ru/basics/solar/pv/pv-recycling.htm> (дата обращения: 19.09.2023).

5. Как происходит утилизация солнечных батарей? – Текст : электронный // REENERGO : [сайт]. – 07.10.2022. – URL: <https://reenergo.ru/blog/kak-proishodit-utilizatsiya-solnechnyh-batarey/> (дата обращения: 19.09.2023).
6. Rollet, Catherine. Переработка фотоэлектрических панелей: почему мы не можем достичь 100 %? / Catherine Rollet. – Текст : электронный // pv-magazine : [сайт]. – august 26, 2020. – URL: <https://www.pv-magazine.com/2020/08/26/recycling-pv-panels-why-cant-we-hit-100/> (дата обращения: 19.09.2023).
7. The Opportunities of Solar Panel Recycling. – Текст : электронный // Greenmatch : [сайт]. – 25.09.2023. – URL: <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2017/10/the-opportunities-of-solar-panel-recycling> (дата обращения: 19.09.2023).

Получена 12.10.2023

Принята 27.10.2023

С. Е. АНТОНЕНКО, В. О. ДОРОХІН  
МІЖНАРОДНИЙ ДОСВІД ПЕРЕРОБКИ ТА УТИЛІЗАЦІЇ СОНЯЧНИХ  
ПАНЕЛЕЙ

ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», Російська  
Федерація, Донецька Народна Республіка, м. о. Макіївський, м. Макіївка

**Анотація.** Ефективне використання сонячної енергії поступово стає предметом досліджень. За прогнозами до 2050 року на Землі накопичиться близько 60...78 мільйонів тонн старих сонячних панелей, якщо вже зараз не розпочати їхню грамотну утилізацію. Вчені та інженери вирішують цю проблему, розробляють відповідні технології, затверджують стандарти. У більшості країн світу сонячні панелі класифікуються як загальні або промислові відходи, крім того, у різних країнах розробляються добровільні та нормативні підходи для спеціального управління «сонячним сміттям». В даний час поширена груба переробка із вилученням тільки скла та алюмінію. Тонка переробка передбачає вилучення з фотоелементів практично всіх складових частин та їх обробку. Для утилізації сонячних панелей на західних ринках з'явилися комерційні компанії-переробники. Переробка сонячних панелей дозволяє зменшити вуглецевий слід, зменшити вартість виробництва за рахунок повторного використання матеріалів, мільйони тонн потенційних відходів не потрапляють на звалища.

**Ключові слова:** сонячні панелі, переробка, утилізація.

SVETLANA ANTONENKO, VLADISLAV DOROKHIN  
INTERNATIONAL EXPERIENCE IN THE DISPOSAL AND RECYCLING OF  
SOLAR PANELS

FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian  
Federation, Makeevka

**Abstract.** The efficient use of solar energy is gradually becoming a subject of research. According to forecasts, by 2050, about 60...78 million tons of old solar panels will accumulate on Earth, if their proper disposal does not begin now. Scientists and engineers solve this problem, develop appropriate technologies, and approve standards. Most countries around the world classify solar panels as general or industrial waste, and countries are developing voluntary and regulatory approaches to specifically manage solar waste. Currently, crude processing is common, extracting only glass and aluminum. Fine processing involves the extraction of almost all components from photocells and their processing. Commercial recycling companies have emerged in Western markets to recycle solar panels. Recycling solar panels reduces your carbon footprint, reduces production costs by reusing materials, and keeps millions of tons of potential waste out of landfills.

**Keywords:** solar panels, recycling, disposal.

**Антоненко Светлана Евгеньевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры городского строительства и хозяйства ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: электрохимическое умягчение воды, новые материалы и оборудование при проектировании систем отопления, экологическая безопасность инженерных сетей, энергоэффективность зданий.

**Дорохин Владислав Олегович** – магистрант ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: экологическая безопасность, экологическая безопасность инженерных сетей, энергоэффективность зданий.

**Антоненко Світлана Євгенівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри міського будівництва та господарства ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: електрохімічне зм'якшення води, нові матеріали і устаткування при проектуванні систем опалення, екологічна безпека інженерних мереж, енергоефективність будівель.

**Дорохін Владислав Олегович** – студент ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: екологічна безпека, екологічна безпека інженерних мереж, енергоефективність будівель.

**Antonenko Svetlana** – Ph. D. (Eng), Associate Professor, Municipal Building and Economy Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: electrochemical softening the waters, new materials and the equipment at designing of systems of heating, environmental safety of engineering networks, energy efficiency of buildings.

**Dorokhin Vladislav** – student, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: environmental safety, environmental safety of engineering networks, energy efficiency of buildings.

EDN: **VOCVCL**

УДК 697.328

**Д. В. САВИЧ, З. В. УДОВИЧЕНКО, Н. В. КОЛОСОВА**ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевский, г. Макеевка

## **ПРОЦЕССЫ НАГРЕВА ВОДЫ В ЗАСЫПНОМ СЛОЕ АППАРАТОВ ЗЕРНИСТОГО ТИПА**

**Аннотация.** В современных условиях ограниченности энергетических ресурсов, высокой стоимости энергии, негативного воздействия на окружающую среду выбросов промышленных производств актуальным является вопрос применения энерго- и природосберегающих технологий в промышленности строительных материалов. В этой связи одним из путей повышения экономичности и экологичности энерготехнологических установок является совершенствование конструкций существующих аппаратов и создание эффективных комплексных установок, совмещающих в себе процессы очистки и утилизации теплоты отходящих газов. Авторами в статье описаны процессы передачи теплоты в зернистом слое. Разработана модель процессов передачи теплоты от горячего контура через зернистый слой к воде холодного контура через стенки трубок. Схематично показано изменение температуры в слое зернистого материала с расположенными в нем теплообменными трубками. Даны основные выводы по проведенному исследованию процессов теплопередачи в аппарате зернистого типа.

**Ключевые слова:** комплексная установка, процессы передачи теплоты, зернистый слой, горячий и холодный контур.

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Ресурсосбережение и энергосбережение можно рассматривать как оптимизацию энергетических и материальных потоков существующих технологических процессов. В современных условиях и в перспективе одним из важных путей повышения экономичности и экологичности энерготехнологических установок являются способы совершенствования конструкций существующих аппаратов и создание эффективных комплексных установок очистки и утилизации теплоты отходящих газов промышленности строительных материалов.

В комплексе исследуемых энерготехнологических установок, позволяющих наряду с очисткой отходящих газов при производстве строительных материалов использовать их теплоту, нашли применение зернистые фильтры с установкой в толще засыпного слоя трубок для утилизации теплоты от горячего контура [1].

### **ЦЕЛЬ**

Проанализировать процессы теплообмена в слое зернистого фильтра с теплообменными трубками, продуваемыми горячим запыленным газом от сушильных барабанов огнеупорного производства, с описанием процессов передачи теплоты между холодным и горячим контурами.

### **ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ**

Для определения интенсивности теплообмена между запыленным газом и вторичным теплоносителем через стенку рекуперативного теплообменного аппарата (ТА), расположенного в слое зернистого материала, рассмотрим процессы передачи теплоты в зернистом фильтре.

Вопросы, связанные с применением зернистой насадки для интенсификации теплообмена подробно изложены в работах [2–4], где отмечается, что в трубе с неподвижным слоем зернистого материала, пронизываемого потоком газа, коэффициент теплоотдачи возрастает в сравнении с отсутствием зернистого наполнителя примерно в 2–5 раз. Таким образом, рассмотрение процессов теплообмена,

© Д. В. Савич, З. В. Удовиченко, Н. В. Колосова, 2023



определение коэффициента теплопередачи от неподвижного зернистого слоя холодному контуру через стенки трубок, пронизываемых потоком нагретого газа, имеет большое значение в инженерной практике и для систем теплогазоснабжения производственных объектов.

В неподвижном слое теплообмен протекает в условиях стационарного режима.

Моделирование процессов тепломассообмена в зернистых аппаратах заключается в создании модели, которая описывает процессы протекающие при непосредственном контакте запыленного газа с зерновым слоем.

В пылегазоочистном теплообменном аппарате происходит сложный процесс тепломассообмена. Как правило, рассматривают два процесса обособленно друг от друга:

- теплообмен – передача теплоты от горячего газа (горячий контур) нагреваемой воде (холодный контур теплоносителя) через промежуточный зернистый теплоноситель. При этом горячий и холодный контуры разделены поверхностью теплообмена, в качестве которой выступает стенка трубы, входящей в трубный пучок теплообменного аппарата;

- массообмен – абсорбция пылевых частиц из газового потока зернами промежуточного теплоносителя.

Так как первоначально интерес представляет создание математической модели передачи теплоты от зерен к воде через стенку, подробно рассмотрим первый процесс – теплообмен между горячим и холодным контурами.

В общем случае теплообмен в слое осуществляется передачей теплоты от газа зернам теплопроводностью, конвекцией и излучением; передачей теплоты в самой частице теплопроводностью и передачей теплоты от частицы к частице конвективным путем.

В работах [5, 6] отмечено, что при температуре горячего контура выше 300 °С доля переноса теплоты излучением в зернистом слое становится заметной. Поскольку температура отходящих газов не более 300 °С, то передачей теплоты излучением можно пренебречь.

Рассмотрим тепловые процессы, протекающие в очистном теплоутилизационном аппарате зернистого типа, упрощенная схема которого представлена на рисунке 1.

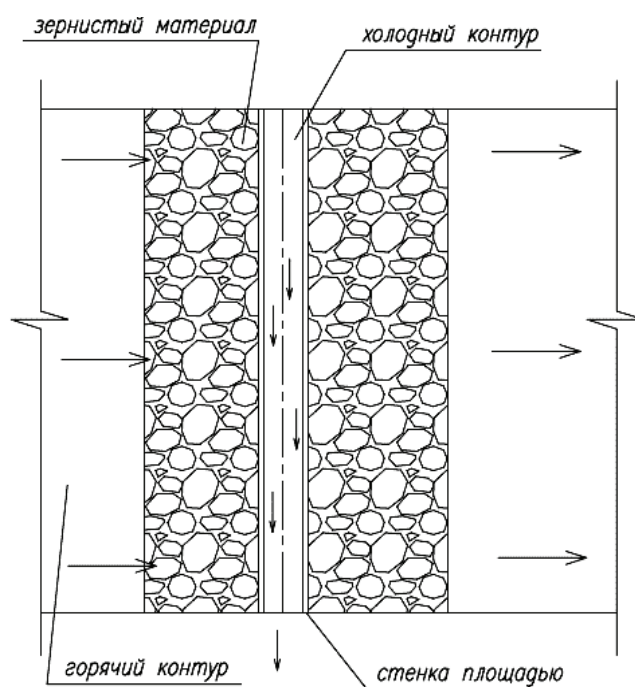


Рисунок 1 – Упрощенная схема аппарата зернистого типа.

Газовый поток горячего контура проходит через зернистый наполнитель, разделяющий два контура, и отдает тепловую энергию зернам. Так как зерна не плотно прилегают к наружной стенке трубы ТА, можно считать, что нагретый поток газа будет отдавать тепловую энергию и свободной поверхности трубы. Вода в холодном контуре нагревается за счет теплоты полученной от внутренней стенки трубы.

В качестве горячего контура служат отходящие газы сушильных барабанов огнеупорного производства, как низкопотенциальный вторичный энергетический ресурс, с температурой отходящих газов 75...150 °С в зависимости от технологического процесса барабанных сушил для сушки глины; в качестве холодного контура – холодная вода, которая, нагреваясь, идет на бытовые нужды и используется как резервный ресурс для технологических процессов.

Количество передаваемой теплоты будет зависеть от ряда факторов

$$Q = f(d_3, \varepsilon, M_3, t_2, v_2, XYZ_m, G_\theta, H_3), \quad (1)$$

где  $d_3$  – диаметр зерна;  
 $\varepsilon$  – порозность зернистого пространства;  
 $M_3$  – материал зерна, пористость;  
 $t_2, v_2$  – температура и скорость газа;  
 $XYZ_m$  – геометрические характеристики рекуперативного теплообменника;  
 $G_\theta$  – расход воды в ТА, материал трубок;  
 $H_3$  – высота слоя зернистого наполнителя.

В качестве материала засыпки используется шамотный бой разной огнестойкости и кварцевый песок. По экспериментальным данным [7] можно судить о целесообразности ограничения наращивания высоты отдельного зернистого слоя до  $20 \cdot 10^{-3}$  м насыпного комбинированного фильтра, а также по данным [8] наиболее эффективной высотой слоя засыпки принят общий слой до  $150 \cdot 10^{-3}$  м, так как при дальнейшем увеличении значения высоты зернистого слоя коэффициент проскока практически не меняется, а гидравлическое сопротивление возрастает.

Передача теплоты осуществляется теплопроводностью между зерном и стенкой трубы, а также вынужденной конвекцией от газа к стенке. Схема передачи теплоты показаны на рисунке 2.

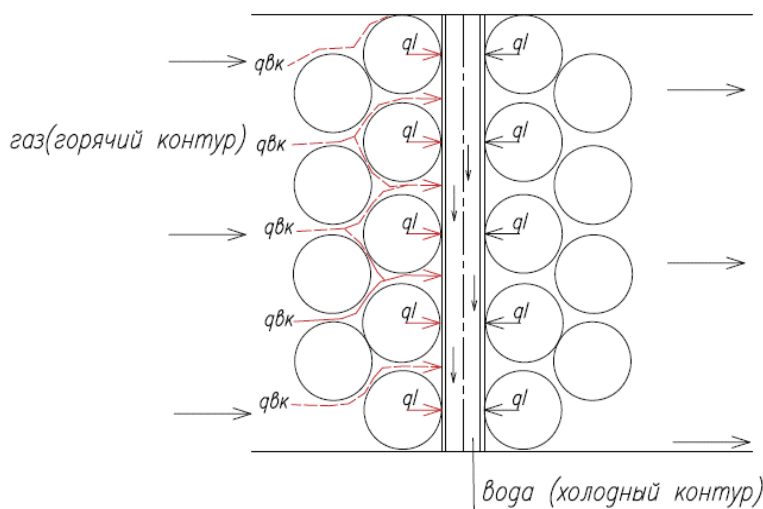


Рисунок 2 – Схема передачи теплоты в аппарате зернистого типа.

Количество теплоты передаваемое от горячего к холодному контуру можно записать с помощью выражения

$$Q_l = F_{менл} \cdot q_l + F_{в.к.} \cdot q_{в.к.}, \quad (2)$$

где  $q_l$  – линейный тепловой поток, Вт/м, который в свою очередь зависит от диаметра и материала зерен

$$q_l = f(d_3, \lambda_3), \quad (3)$$

$q_{в.к.}$  – линейный тепловой поток, передаваемый с помощью вынужденной конвекции

$$q_{в.к.} = f(t_2, v_2), \quad (4)$$

$t_2$  – температура газового потока, °С;  
 $v_2$  – скорость газового потока, м/с.

Таким образом можно предположить, что общая площадь поверхности трубок с холодным контуром можно представить с помощью выражения

$$F_{\text{тр}} = A \cdot F_{\text{тр}} + B \cdot F_{\text{тр}}, \quad (5)$$

где  $A$  – доля от всей площади трубы, где передача теплоты осуществляется теплопроводностью;  
 $B$  – доля от всей площади трубы, где передача теплоты осуществляется вынужденной конвекцией.

Опираясь на законы теплообмена, температура горячего контура  $t_2$  (отходящих газов) при прохождении зернистого слоя, в которых расположены трубы с холодным контуром, будет снижаться, а температура воды в трубках будет увеличиваться. Схематически изменение температуры в слое зернистого материала, в котором расположены трубы представлено на рисунке 3.

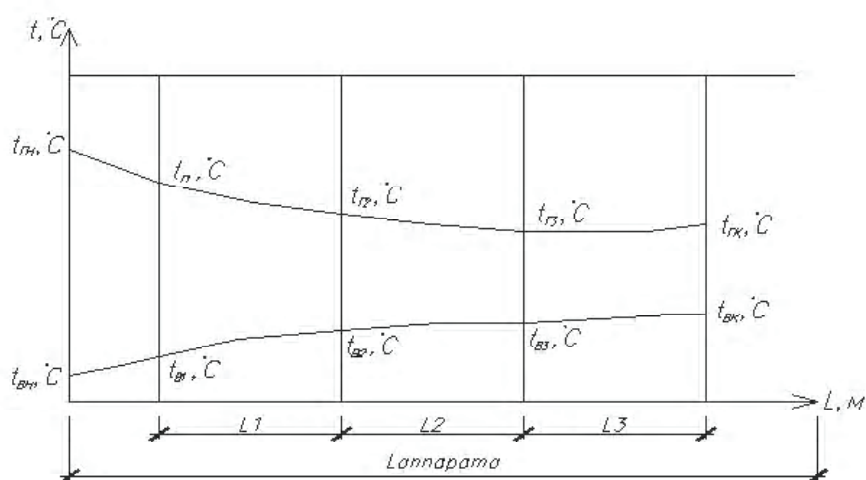


Рисунок 3 – Изменение температуры в зернистом слое.

На графике изменения температуры в зернистом слое (рис. 3)  $t_{ГН}$ ,  $t_{Г1}$ ,  $t_{Г2}$ ,  $t_{Г3}$ ,  $t_{ГК}$  – температура газа (горячего контура) на входе в аппарат, соответственно, в каждом из слоев зернистого наполнителя и на выходе из зернистого теплоутилизатора, °С;  $t_{БН}$ ,  $t_{Б1}$ ,  $t_{Б2}$ ,  $t_{Б3}$ ,  $t_{БК}$  – температура воды в трубках (холодного контура) на входе в аппарат, соответственно, в каждом из слоев зернистого наполнителя и на выходе из зернистого теплоутилизатора, °С;  $L$ ,  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  – длина теплоутилизатора и, соответственно, 1-го, 2-го и 3-го слоя зернистой засыпки.

Рассмотренные процессы в дальнейшем позволят создать математическую модель передачи теплоты воде холодного контура от запыленных газов горячего контура через зернистый наполнитель.

## ВЫВОДЫ

В статье проанализирован процесс теплообмена в слое зернистого фильтра с теплообменными трубками, продуваемыми горячим запыленным газом от сушильных барабанов, с описанием процессов передачи теплоты между холодным и горячим контурами.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Удовиченко, З. В. Очистка и утилизация теплоты отходящих газов в аппаратах с зернистым слоем в промышленности строительных материалов / З. В. Удовиченко, Д. В. Савич, В. П. Демешкин. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2022. – Выпуск 2022-5(157) Инженерные системы и техногенная безопасность. – С. 27–33. – [http://donnasa.ru/publish\\_house/journals/vestnik/2022-5\(157\).pdf](http://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2022-5(157).pdf) (дата публикации: 21.11. 2022).
2. Лева, М. Псевдоожигение / М. Лева ; [перевод с английского В. Г. Айнштейна ; под редакцией проф. Н. И. Гельперина]. – Москва : Гостоптехиздат, 1961. – 400 с. – Текст : непосредственный.



3. Гельперин, Н. И. Основы техники псевдооживления / Н. И. Гельперин, В. Г. Айнштейн, В. Б. Кваша. – Москва : Химия, 1967. – 664 с. – Текст : непосредственный.
4. Аэродинамические способы повышения эффективности систем и аппаратов пылеулавливания в производстве огнеупоров : [монография] / В. И. Энтин, Ю. В. Красовицкий, Н. М. Анжеуров [и др.]. – Воронеж : Издательство «Истоки». – 1998. – 362 с. – ISBN 5-88242-085-7. – Текст : непосредственный.
5. Аэров, М. Э. Аппараты со стационарным зернистым слоем: Гидравлические и тепловые основы работы / М. Э. Аэров, О. М. Тодес, Д. А. Наринский. – Ленинград : Химия, 1979. – 176 с. – Текст : непосредственный.
6. Шарапов, Р. Р. Зернистые фильтры со стационарным фильтрующим слоем / Р. Р. Шарапов, В. А. Уваров, С. Ю. Кабанов : монография / Белгородский государственный технологический университет. – Белгород : Белгородский государственный технологический университет, 2011. – 120 с. – Текст : непосредственный.
7. Чугунова, И. А. Обеспыливание вентиляционных выбросов насыпными комбинированными фильтрами при производстве огнеупоров : специальность 05.23.03 «Теплоснабжение, вентиляция, кондиционирование воздуха, газоснабжение и освещение» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Чугунова Ирина Анатольевна ; Воронежский государственный архитектурно-строительный университет. – Воронеж, 2013. – 170 с. – Текст : непосредственный.
8. Кабанов, С. Ю. Комбинированный зернистый фильтр : специальность 05.02.13 «Машины, агрегаты и процессы» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Кабанов Сергей Юрьевич ; Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова. – Белгород, 2011. – 171 с. – Текст : непосредственный.

Получена 09.10.2023

Принята 27.10.2023

Д. В. САВИЧ, З. В. УДОВИЧЕНКО, Н. В. КОЛОСОВА  
ПРОЦЕСИ НАГРІВУ ВОДИ В ЗАСИПНОМУ ШАРІ АПАРАТІВ ЗЕРНИСТОГО  
ТИПУ

ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», Російська  
Федерація, Донецька Народна Республіка, м. о. Макіївський, м. Макіївка

**Анотація.** В сучасних умовах обмеженості енергетичних ресурсів, високої вартості енергії, негативного впливу на навколишнє середовище викидів промислових виробництв актуальним є питання застосування енерго- і природозберігаючих технологій в промисловості будівельних матеріалів. У зв'язку з цим одним із шляхів підвищення економічності та екологічності енерготехнологічних установок є вдосконалення конструкцій існуючих апаратів і створення ефективних комплексних установок, що поєднують в собі процеси очищення та утилізації теплоти газів, що відходять. Авторами в статті описані процеси передачі теплоти в зернистому шарі. Розроблено модель процесів передачі теплоти від гарячого контуру через зернистий шар до води холодного контуру через стінки трубок. Схематично показано зміна температури в шарі зернистого матеріалу з розташованими в ньому теплообмінними трубками. Дано основні висновки по проведеному дослідженні процесів теплопередачі в апараті зернистого типу.

**Ключові слова:** комплексна установка, процеси передачі теплоти, зернистий шар, гарячий і холодний контур.

DARIA SAVICH, ZLATA UDOVICHENKO, NELLY KOLOSOVA  
PROCESSES OF HEATING WATER IN THE BACKFILL LAYER OF GRANULAR-  
TYPE DEVICES

FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian  
Federation, Makeevka

**Abstract.** In modern conditions of limited energy resources, high energy costs, and the negative impact of industrial emissions on the environment, the issue of applying energy and environmentally-saving technologies in the building materials industry is relevant. In this regard, one of the ways to increase the efficiency and environmental friendliness of energy technology installations is to improve the designs of existing devices and create effective complex installations that combine the processes of cleaning and recycling the heat of waste gases. The authors of the article describe the processes of heat transfer in the granular layer. A model has been developed for the processes of heat transfer from the hot circuit through the granular layer to the water of the cold circuit through the walls of the tubes. The temperature change in a layer of granular material with heat exchange tubes located in it is schematically shown. The main conclusions from the study of heat transfer processes in a granular-type apparatus are given.

**Keywords:** complex installation, heat transfer processes, granular layer, hot and cold circuit.

**Савич Дарья Владимировна** – старший преподаватель кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергосбережение в системах теплогазоснабжения и вентиляции.

**Удовиченко Злата Викторовна** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергосбережение в системах теплогазоснабжения и вентиляции.

**Колосова Нелли Вадимовна** – кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергосбережение в системах теплогазоснабжения и вентиляции.

**Савич Дар'я Володимирівна** – старший викладач кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергоощадження в системах теплогазопостачання та вентиляції.

**Удовиченко Злата Вікторівна** – кандидат технічних наук, доцент; завідувач кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергоощадження в системах теплогазопостачання та вентиляції.

**Колосова Неллі Вадимівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергоощадження в системах теплогазопостачання та вентиляції.

**Savich Daria** – senior lecturer, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: energy saving in heat and gas supply and ventilation systems.

**Udovichenko Zlata** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Head of Heat and Gas Supply and Ventilation Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: energy saving in heat and gas supply and ventilation systems.

**Kolosova Nelly** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: energy saving in heat and gas supply and ventilation systems.

EDN: OSXNJD

УДК 620.92

**А. А. ОЛЕКСЮК, Н. В. ДОЛГОВ, А. А. ПОЛКОВНИКОВ**ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевский, г. Макеевка

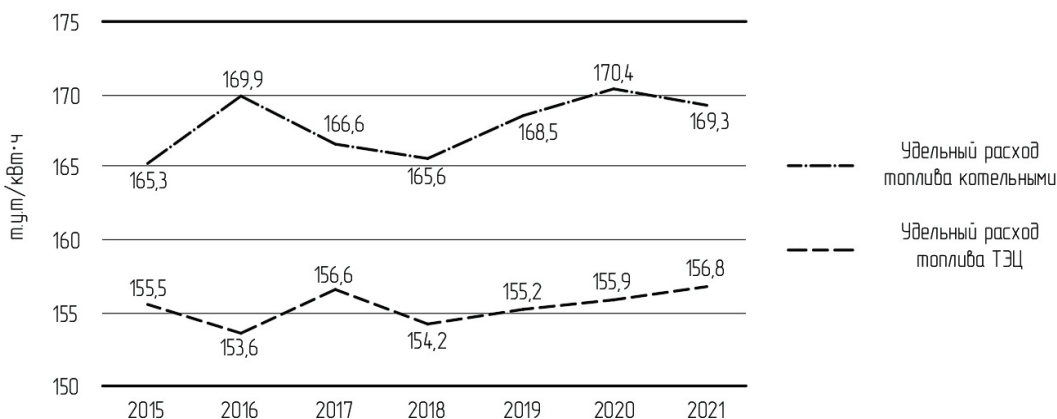
## АНАЛИЗ ТЕПЛООВОГО ПОТЕНЦИАЛА СОЛНЕЧНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ ДОНБАССА

**Аннотация.** Проблема рационального использования топливно-энергетических ресурсов является одной из наиболее острых в энергетике. Возрастающие с каждым годом производство и потребление тепловой энергии требуют все больших и больших объемов углеводородного топлива. Одним из решений данной проблемы является применение альтернативных источников энергии, в частности, солнечной энергии для сокращения потребления тепловой энергии, получаемой за счет сжигания ископаемого топлива. В данной статье проведен анализ теплового потенциала солнечного излучения в качестве источника тепловой энергии для гелиотермальных установок на территории Донбасса. Рассмотрены факторы, влияющие на теплосъем солнечных коллекторов, в частности, местные климатологические особенности, время суток и время года, угол наклона и ориентация поглощающей поверхности.

**Ключевые слова:** альтернативные источники энергии, солнечная энергия, солнечное излучение, горячее водоснабжение, централизованное теплоснабжение.

### ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Проблема рационального использования топливно-энергетических ресурсов является одной из наиболее острых в энергетике. Возрастающие с каждым годом производство и потребление тепловой энергии требуют все больших и больших объемов углеводородного топлива (рис. 1), запасы которого не безграничны [1].



**Рисунок 1** – Показатели удельного расхода топлива на выработку тепловой энергии.



## ЦЕЛЬ

Сокращение потребления тепловой энергии, получаемой за счет сжигания ископаемого топлива, путем применения альтернативных источников энергии, в частности, солнечной энергии.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

В долгосрочной перспективе, Солнце представляет собой наиболее стабильный и доступный источник энергии для человечества. Современные технологии позволяют использовать солнечную энергию для ежедневного получения тепла, однако, её потенциал для повседневного применения ещё не полностью раскрыт.

С помощью солнечной энергии можно покрыть до 60 % годового потребления энергии на горячее водоснабжение. Солнечные установки, покрывающие часть нагрузки на отопление, позволяют еще больше снизить потребление топлива. С их помощью можно сэкономить до 35 % годовых расходов теплоты на отопление и горячее водоснабжение [2].

Солнечная энергия представляет собой практически неисчерпаемый ресурс, годовая выработка которого эквивалентна  $1,3 \cdot 10^{14}$  тоннам условного топлива. Мощность, достигающая поверхности Земли, оценивается в 20 млрд кВт ( $20 \cdot 10^{12}$  Вт, или 2 000 ГВт). На расстоянии 1 а.е. от Солнца интенсивность излучения составляет  $1\,367 \text{ Вт/м}^2$ . Этот показатель, известный как солнечная постоянная, в реальности меняется в течение года, достигая максимума в январе, когда Земля проходит перигелий своей орбиты [3].

При использовании солнечной энергии важно понимать, какая часть солнечного излучения может быть действительно использована. В результате воздействия атмосферы из  $1\,367 \text{ Вт/м}^2$  интенсивности излучения поверхности Земли достигает максимум около  $1\,000 \text{ Вт/м}^2$ . Атмосфера по-разному действует на весь спектр излучения. Облака отражают определенную часть излучения, а другая часть поглощается ими. Значительное количество излучения рассеивается в плотных слоях атмосферы или облаках, что приводит к образованию рассеянного излучения. Большая часть излучения в конечном итоге достигает поверхности Земли. Падающее на Землю излучение также частично отражается и частично поглощается ею. Отражение прямого излучения от земной поверхности также способствует созданию рассеянного излучения (рис. 2) [2].

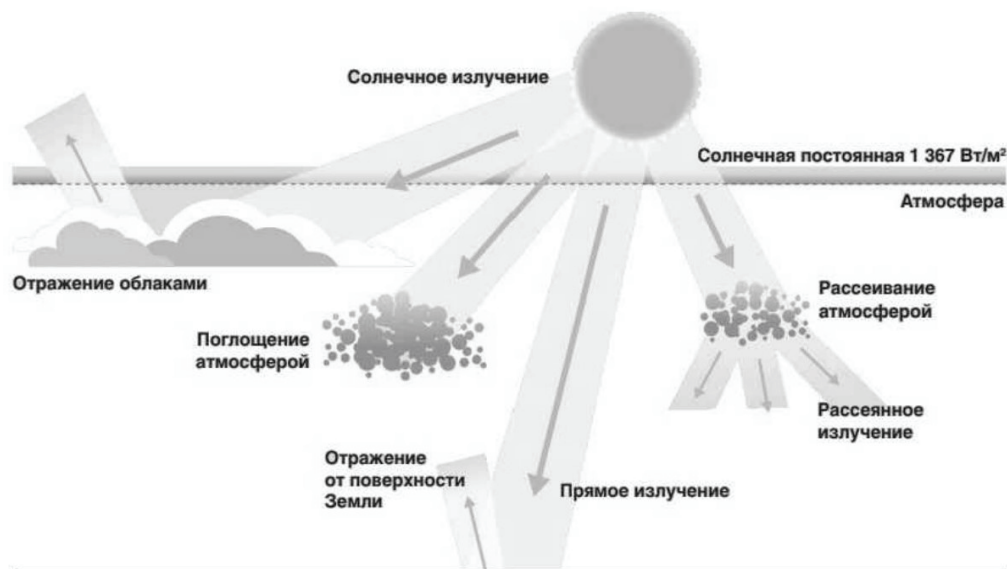


Рисунок 2 – Влияние атмосферы на солнечное излучение.

Сумма прямого и рассеянного солнечного излучения называется суммарным солнечным излучением или инсоляцией.

С точки зрения использования солнечной энергии важным фактором является мощность излучения, измеряемая на определенной поверхности (табл. 1) [4]. Для определения фактического

**Таблица 1** – Месячное суммарное солнечное излучение на горизонтальную плоскость для г. Донецка

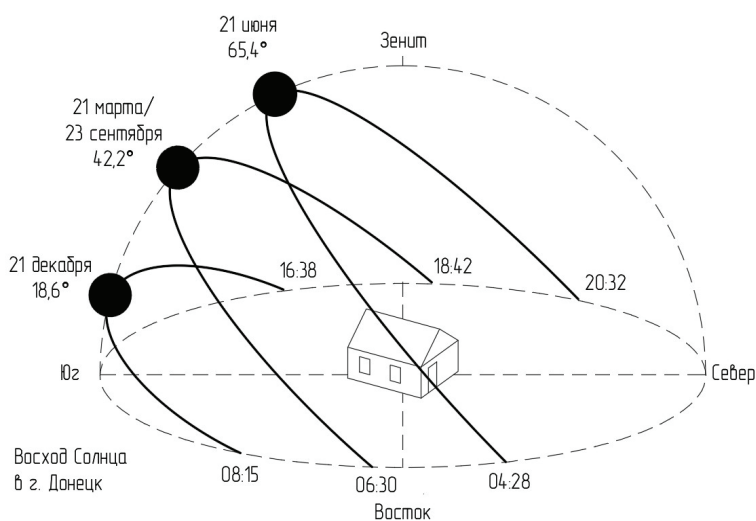
Единица измерения	Месяц												Σ
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
МДж/м <sup>2</sup>	107	168	297	425	589	628	660	559	413	249	99	70	4264
кВт·ч/м <sup>2</sup>	29,7	46,7	82,5	118,1	163,6	174,4	183,3	155,3	114,7	69,2	27,5	19,4	1 184,4

количества солнечной радиации, преобразуемой в гелиотермальную энергию, также необходимо учесть продолжительность облучения данной поверхности Солнцем (табл. 2) [5].

**Таблица 2** – Количество солнечных дней для г. Донецка

Кол-во дней	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
ясно	4	5	9	12	13	16	16	20	19	15	8	4
облачно	19	18	15	13	15	12	12	9	10	11	16	19
пасмурно	7	7	5	5	2	2	3	1	2	3	6	7

Ось Земли наклонена на 23,5° по отношению к оси ее орбиты вращения вокруг Солнца. С марта по сентябрь Солнце в большей степени освещает Северное полушарие, а с сентября по март – Южное, следствием чего является изменение продолжительности дня летом и зимой. Продолжительность дня определяется также широтой местности, то есть чем дальше на Север, тем длиннее (летом) или короче (зимой) дни [2]. Город Донецк имеет координаты 48° с.ш. С учетом угла наклона оси Земли это означает, что 21 июня Солнце находится в полдень под углом 65,4° к горизонту и продолжительность светового дня составляет 16 часов 4 минуты. В полдень 21 декабря угол составляет всего 18,6°, а продолжительность светового дня сокращается до 8 часов 23 минут (рис. 3) [6].



**Рисунок 3** – Солнечная орбита в течение года.

Приведенные в нормативной литературе значения суммарной энергии излучения относятся к горизонтальной поверхности. Наклон поглощающей поверхности солнечного коллектора изменяет угол падения солнечных лучей и интенсивность облучения, а следовательно, и количество поглощенной энергии [2].

В общем случае, угол наклона солнечного коллектора должен быть таким, чтобы солнечные лучи падали на него под прямым углом. Это позволяет максимально эффективно использовать солнечную энергию и снизить потери тепла через излучение. Когда угол наклона меньше оптимального, солнечный коллектор будет поглощать меньше солнечной радиации из-за отклонения лучей от перпендикуляра к поверхности, и, как результат, эффективность сбора энергии снижается. При угле

наклона, превышающем оптимальный, солнечный коллектор начинает терять меньше энергии из-за излучения, но при этом он начинает собирать меньше прямой солнечной радиации, так как солнечные лучи скользят по его поверхности. Это также приводит к снижению эффективности сбора энергии.

Таким образом, для достижения максимальной эффективности солнечного коллектора необходимо подобрать оптимальный угол его наклона, учитывая географическое положение и время года [7]:

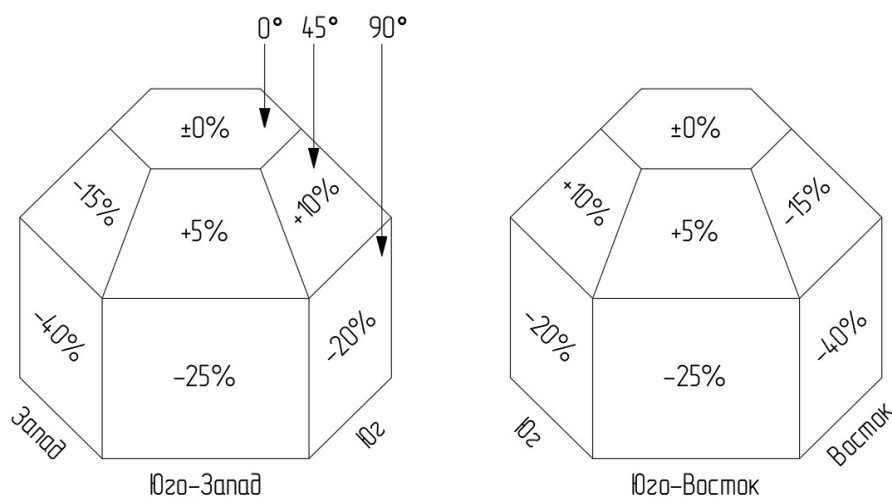
- для круглогодичных солнечных установок оптимальный угол наклона равен географической широте местности;
- для солнечных установок, работающих в неотапительный период, оптимальный угол наклона принимается на 15° меньше значения географической широты местности;
- для солнечных установок, работающих в отопительный период, оптимальный угол наклона принимается на 15° больше значения географической широты местности.

Усредненные значения суточного суммарного солнечного излучения на наклонную плоскость в зависимости от режима работы солнечной установки для г. Донецка приведено в таблице 3 [8].

**Таблица 3** – Усредненные значения суточного суммарного солнечного излучения, кВт·ч/м<sup>2</sup>, на наклонную плоскость для г. Донецка

Угол	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
33°	1,80	2,75	3,50	4,31	5,43	5,30	5,49	5,33	4,26	2,94	1,82	1,49
48°	1,95	2,90	3,52	4,14	5,03	4,80	5,03	5,05	4,23	3,06	1,96	1,63
63°	2,00	2,90	3,37	3,78	4,41	4,14	4,36	4,53	3,99	3,02	2,00	1,69

Другой важный аспект, который нужно учесть при расчете объема поглощаемой солнечной радиации, – это ориентация поверхности поглощения. В северном полушарии наиболее эффективной будет ориентация поверхности на юг. Рисунок 4 иллюстрирует влияние ориентации и угла наклона поверхности поглощения на величину падающего излучения.



**Рисунок 4** – Влияние угла наклона и ориентации поглощающей поверхности на значение суммарного солнечного излучения.

Сравнение с горизонтальным расположением поглощающей поверхности показывает увеличение или уменьшение показателей инсоляции. В промежутке между направлениями на юго-восток и юго-запад с углами наклона от 25 до 70°, можно выделить область, где производительность гелиоустановки будет оптимальной. Существенные отклонения, например в случае установок на вертикальных поверхностях, могут быть компенсированы за счет увеличения площади коллектора [2].

## ВЫВОД

Анализ потенциальных ресурсов солнечной радиации на Донбассе (значение годовой суммарной радиации на горизонтальную поверхность в г. Донецке составляет 1 184,4 кВт·ч/м<sup>2</sup>) позволяют сделать вывод о значительном потенциале возможного использования солнечной радиации для нужд систем теплоснабжения. Использование этого потенциала позволит существенно сэкономить традиционные виды топлива и электроэнергию путем их частичного замещения указанным источником энергии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный доклад о состоянии энергосбережения и повышении энергетической эффективности в Российской Федерации в 2021 году / Министерство экономического развития Российской Федерации. – 127 с. – URL: [https://www.economy.gov.ru/material/file/5a79eed92247fc7cb91873a107625372/Energy\\_efficiency\\_2022.pdf](https://www.economy.gov.ru/material/file/5a79eed92247fc7cb91873a107625372/Energy_efficiency_2022.pdf) (дата обращения: 11.09.2023). – Текст : электронный.
2. Книга о «Солнце». Руководство по проектированию систем солнечного теплоснабжения / ООО «Виссман». – Киев : «Злато-Граф», 2010. – 195 с. – URL: [https://geo-comfort.ru/images/PDF/Тепловіе%20насосы/Solnishko/Kniga\\_o\\_solnce.pdf](https://geo-comfort.ru/images/PDF/Тепловіе%20насосы/Solnishko/Kniga_o_solnce.pdf) (дата обращения: 11.09.2023). – Текст : электронный.
3. Матрунчик, А. С. Использование солнечной энергии в системах горячего водоснабжения / А. С. Матрунчик, А. И. Бурков. – Текст : электронный // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. – 2015. – № 2. – С. 237–247. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-solnechnoy-energii-v-sistemah-goryachego-vodosnabzheniya> (дата обращения: 11.09.2023).
4. Таблица инсоляции для расчета ФЭС. – Текст : электронный // solbat.su : [сайт]. – 2001–2015. – URL: <http://www.solbat.su/meteorology/insolation> (дата обращения: 11.09.2023).
5. Weather Archive. – Текст : электронный // weatherarchive.ru : [сайт]. – URL: <https://www.weatherarchive.ru/> (дата обращения: 11.09.2023).
6. SunCalc – солнечный калькулятор. – Текст : электронный // suncalc.org : [сайт]. – 2015–2023. – URL: <https://www.suncalc.org> (дата обращения: 11.09.2023).
7. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения / Р. Р. Авезов, М. А. Барский-Зорин, И. М. Васильева [и др.] ; под редакцией Э. В. Сарнацкого и С. А. Чистовича. – Москва : Стройиздат, 1990. – 328 с. – Текст : непосредственный.
8. Солнечная радиация для некоторых городов. – Текст : электронный // Гиперион : [сайт]. – 2023. – URL: [https://giperion.biz/stati/solnechnaya\\_radiaciya\\_dlya\\_nekotoryh\\_gorodov/](https://giperion.biz/stati/solnechnaya_radiaciya_dlya_nekotoryh_gorodov/) (дата обращения: 11.09.2023).

Получена 02.10.2023

Принята 27.10.2023

## А. О. ОЛЕКСЮК, М. В. ДОЛГОВ, О. А. ПОЛКОВНИКОВ АНАЛІЗ ТЕПЛОВОГО ПОТЕНЦІАЛУ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ НА ТЕРИТОРІЇ ДОНБАСУ

ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», Російська Федерація, Донецька Народна Республіка, м. о. Макіївський, м. Макіївка

**Анотація.** Проблема раціонального використання паливно-енергетичних ресурсів є однією з найгостріших в енергетиці. Виробництво і споживання теплової енергії, що зростають з кожним роком, вимагають дедалі більших і більших обсягів вуглеводневого палива. Одним із розв'язань цієї проблеми є застосування альтернативних джерел енергії, зокрема, сонячної енергії для скорочення споживання теплової енергії, одержуваної за рахунок спалювання викопного палива. У цій статті проведено аналіз теплового потенціалу сонячного випромінювання як джерела теплової енергії для геліотермальних установок на території Донбасу. Розглянуто фактори, що впливають на теплотнімання сонячних колекторів, зокрема, місцеві кліматологічні особливості, час доби та пору року, кут нахилу та орієнтація поглинаючої поверхні.

**Ключові слова:** альтернативні джерела енергії, сонячна енергія, сонячне випромінювання, гаряче водопостачання, централізоване тепlopостачання.

ANATOLIY OLEKSIUK, NIKOLAI DOLGOV, ALEXEY POLKOVNIKOV  
ANALYSING THE THERMAL POTENTIAL OF SOLAR RADIATION FOR USE IN  
HEAT SUPPLY SYSTEMS ON THE TERRITORY OF DONBAS  
FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian  
Federation, Makeevka

**Abstract.** The problem of rational use of fuel and energy resources is one of the most acute in the energy sector. Increasing year by year production and consumption of thermal energy require more and more hydrocarbon fuel. One of the solutions to this problem is the use of alternative energy sources, in particular, solar energy to reduce the consumption of thermal energy obtained by burning fossil fuels. This article analyses the thermal potential of solar radiation as a source of thermal energy for solar thermal plants in the territory of Donbass. The factors influencing the heat input of solar collectors are considered, in particular, local climatological peculiarities, time of day and time of year, angle of inclination and orientation of the absorbing surface.

**Keywords:** alternative energy sources, solar energy, solar radiation, hot water supply, district heating.

**Олексюк Анатолий Алексеевич** – доктор технических наук, профессор кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергосбережение в системах теплоснабжения, использование трехконтурных теплообменников.

**Долгов Николай Викторович** – кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергоресурсосбережение в системах теплогазоснабжения и вентиляции.

**Полковников Алексей Андреевич** – ассистент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергоресурсосбережение в системах теплогазоснабжения и вентиляции.

**Олексюк Анатолій Олексійович** – доктор технічних наук, професор кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергоощадження в системах теплопостачання, використання триконтурних теплообмінників.

**Долгов Микола Вікторович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергоресурсоощадження в системах теплогазопостачання і вентиляції.

**Полковников Олексій Андрійович** – асистент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергоресурсоощадження в системах теплогазопостачання та вентиляції.

**Oleksyuk Anatoliy** – Ph. D. (Eng.), Professor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: heat saving in systems of a heat supply, use of three circuit heat exchangers.

**Dolgov Nikolai** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor; Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: energy and resource saving in heat and gas supply systems.

**Polkovnikov Aleksey** – assistant, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: energy and resource saving in heat and gas supply systems.



EDN: **KZRKVVX**

УДК 628.921

**Т. А. ЧЕРНЫШЕВА, Б. А. НОВИКОВ, О. И. БОДАЧЕВСКИЙ**ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевский, г. Макеевка

## **МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЕСТЕСТВЕННОЙ СВЕТОВОЙ СРЕДЫ В ПОМЕЩЕНИЯХ ДЕТСКОГО ДОШКОЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ**

**Аннотация.** Данная статья посвящена вопросам формирования естественной световой среды в помещениях здания детского сада – игровых комнатах на первом и втором этажах. Исходя из архитектурных и конструктивных решений здания, производится выбор системы освещения. Все это делает расчет естественного освещения с учетом продолжительности непрерывной инсоляции в помещениях здания детского сада одним из основополагающих аспектов проектирования. В статье приведены расчеты коэффициентов естественной освещенности и продолжительности непрерывной инсоляции для игровых комнат при планировании внутреннего пространства здания детского сада. Оценка естественного освещения помещений выполнена графоаналитическим методом в соответствии с требованиями санитарно-гигиенических и строительных норм. Также приведены нормативные требования к естественному освещению в помещениях детских дошкольных учреждений. Оценка условий инсоляции помещения через оконные проемы осуществлялась методом инсоляционной линейки. Полученные расчетные значения коэффициентов естественной освещенности и продолжительности непрерывной инсоляции для игровых комнат удовлетворяют требованиям нормативных документов.

**Ключевые слова:** световая среда, естественное освещение, инсоляция, коэффициент естественной освещенности, инсоляционная линейка.

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Среди факторов внешней среды, влияющих на организм, свет занимает одно из первых мест. Под воздействием света перестраиваются физиологические и психические реакции организма. Огромно значение света в профилактике зрительного утомления и наиболее распространенных расстройств зрения, в частности близорукости, так как именно в детском возрасте формируется рефракция глаза, влияющая на уровень зрительных функций и зрительную работоспособность. Поэтому в помещениях для детей должны быть созданы оптимальные условия освещения.

Пребывание детей в детских дошкольных учреждениях приходится в основном на дневное время. В связи с этим вопросы естественного освещения и инсоляции групповых, игровых, спален и др. помещений требуют первостепенного внимания при проектировании и строительстве детских учреждений. Недостаточное либо слишком резкое освещение ведет к ухудшению зрения у детей, снижению либо повышению активности, нарушению самочувствия, появлению раздражительности, агрессивности или беспокойного сна и плаксивости, повышенному травматизму в связи с плохой видимостью. Для детского глаза наиболее полезным является естественное освещение.

Оптимальный световой режим достигается путем учета светового климата местности, где предполагается строительство проектируемого здания, инсоляционного режима в помещении, правильного выбора размеров, формы и цветовой отделки помещения, расположения и размеров окон, правильного размещения и выбора источников искусственного света.

### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

Проблемой освещенности внутренней световой среды жилых и общественных зданий занимались многие исследователи. В работе [1] изучен мировой опыт и международная практика нормирования



естественной освещенности в образовательных организациях, а также опыт использования инновационных решений в этой области. Представлен перечень нормативных актов европейских стран, регламентирующих показатели естественной и искусственной освещенности в жилых и общественных зданиях. Коэффициент дневного света (DF), являющийся аналогом отечественного показателя коэффициента естественной освещенности, в разных странах имеет диапазон нормативных значений от 0,8 до 5 %. В статье приведены требования к освещению и инсоляции жилых и общественных зданий, в том числе общеобразовательных организаций таких стран, как Великобритания, Германия, Греция, Польша, США, Швеция, Кипр, Нидерланды, Япония, по следующим показателям: коэффициент дневного света, световой коэффициент, показатель объединенного дискомфорта, коэффициент трансмиссии света, распределение светового потока. В целом, не обращая внимания на разную терминологию, перечень нормируемых параметров естественной освещенности как в Российской Федерации, так и в зарубежных странах является идентичным. При этом требования, предъявляемые к естественному освещению (DF (КЕО), продолжительность инсоляции), в европейских стандартах более жесткие. Влияние естественного освещения на здоровье и успеваемость школьников было предметом изучения в Швеции и США. Авторы пришли к выводу, что работа в классах без естественного света может нарушить основной гормональный фон, повлиять на способность детей концентрировать внимание, взаимодействовать друг с другом, а также в конечном итоге оказывать влияние на показатели роста и число пропусков по заболеваемости. Исследования данных мирового опыта, свидетельствующих о значимости естественного света в формировании оптимальных условий для обучения и зрительной работы школьников, профилактики нарушений здоровья, позволяют сделать вывод о необходимости инициации научных исследований в части установления математических моделей риска здоровью школьников. Научные исследования, представленные в работах [2, 3, 4, 5], направлены на решение улучшения освещенности внутренней световой среды помещений жилых зданий, детских учреждений, больниц, гостиниц и общежитий.

При этом остается еще ряд вопросов, без решения которых нельзя обеспечить нормативный режим естественного освещения.

## ЦЕЛЬ

Используя расчетные методы исследования естественной световой среды в помещениях детского сада, дать оценку естественному освещению и инсоляции, обеспечивающих нормированные значения коэффициента естественной освещенности и требуемого времени непрерывной инсоляции в игровых комнатах.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Проектируемый объект – детское дошкольное учреждение на территории Республики Крым в г. Керчи. Формирование естественной световой среды в помещениях здания детского сада: групповых, игровых комнатах, спальнях на первом и втором этажах, связано с определением значения коэффициента естественного освещения с учетом продолжительности непрерывной инсоляции.

### *Оценка естественного освещения помещений*

Оценка естественного освещения помещений выполнена графоаналитическим методом расчета в соответствии с требованиями СанПиН № 2.2.1-2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий», СанПиН № 2.2.1/2.1.1.2585-10 «Изменения и дополнения № 1 к СанПиН № 2.2.1-2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий» и СП 52.13330.2016 Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\* «Естественное и искусственное освещение», СП 367.1325800.2017 «Здания жилые и общественные. Правила проектирования естественного и совмещенного освещения». Характер функционального процесса, осуществляемого в помещении, светоклиматические особенности района строительства, ориентация здания по сторонам горизонта и вид системы естественного освещения, являются определяющими факторами выбора нормируемого значения коэффициента естественной освещенности (КЕО).

Гигиенические требования к естественному освещению в помещениях детских дошкольных учреждений:

– при одностороннем боковом освещении в помещениях детских дошкольных учреждений нормируемое значение КЕО должно быть обеспечено: а) в групповых и игровых помещениях – в расчетной

точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и плоскости пола на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов; б) в остальных помещениях – в расчетной точке, расположенной в геометрическом центре помещения на рабочей поверхности;

– при двухстороннем боковом освещении помещений любого назначения нормированное значение КЕО должно быть обеспечено в геометрическом центре помещения на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и плоскости пола;

– расчет естественного освещения помещений производится без учета мебели, оборудования, озеленения и деревьев, а также при стопроцентном использовании светопрозрачных заполнений в светопроемах. Допускается снижение расчетного значения КЕО ( $e_p$ ) от нормируемого КЕО ( $e_n$ ) не более чем на 10 %.

Расчетное значения КЕО ( $e_p$ ) при боковом освещении помещений в соответствии с требованиями СП 52.13330.2016 Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\* «Естественное и искусственное освещение» учитывает световой поток, падающий на расчетную точку внутри помещения, включает прямой диффузионный свет части небосвода, видимого через световой проем, а также свет, отраженный от внутренних поверхностей помещения и от противостоящих зданий, коэффициент эксплуатации, общий коэффициент светопропускания, число световых проемов, коэффициент, учитывающий неравномерную яркость небосвода.

#### *Оценка условий инсоляции помещений*

Оценка условий инсоляции помещения через оконный проем осуществляется с помощью инсоляционного графика (инсоляционная линейка) с учетом географической широты территории. Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01 «Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий» расчет продолжительности инсоляции выполняется в расчетной точке (РТ), расположенной в центре окна помещения, для которого проводится оценка условий инсоляции.

Расчет продолжительности инсоляции с помощью инсоляционной линейки выполняется в такой последовательности:

- определяется горизонтальный угол инсоляции  $\alpha$  на плане помещения;
- инсоляционная линейка ориентируется по сторонам горизонта в соответствии с ориентацией генплана и совмещается с генпланом так, чтобы полюс графика (точка, где совпадают солнечные лучи), совпадал с РТ;
- в пределах горизонтального угла инсоляции  $\alpha$  определяются сектора затенения противоположными зданиями;
- расчетная продолжительность инсоляции определяется в расчетный период с 7.00 до 17.00 – как разница между продолжительностью инсоляции в пределах горизонтального угла инсоляции и продолжительностью затенения противоположными зданиями.

#### **Расчет КЕО в точке А для пом. 122 (игровая комната).**

Расчетная точка А располагается на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и рабочей плоскости на уровне пола, на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов (рис. 1, 2). Размеры пом. 122 приведены в табл. 1.

1. Определение геометрического КЕО (рис. 1, 2):

Прямой свет  $C = 22$ ,  $n_1 = 3,6$  по графику I;

$n_2 = 16,9 + 7,8 = 24,7$  по графику II;  $\epsilon_0 = n_1 \times n_2 = 3,6 \times 24,7 \times 0,01 = 0,89$  %.

Определение значений  $q$ , по таблице Б.1 СП 367.1325800.2017:  $\theta = 8,33^\circ$   $q = 0,56$ .

Прямой свет  $C = 17,2$ ,  $n_1 = 6,6$  по графику I;

$n_2 = 17,5$  по графику II;  $\epsilon_0 = n_1 \times n_2 = 6,6 \times 17,5 \times 0,01 = 1,16$  %.

Определение значений  $q$ , по таблице Б.1:  $\theta = 10,16^\circ$   $q = 0,58$ .

Определение значений  $r_0$  по таблице Б.5 СП 367.1325800.2017:

$l_T / d_{II} = 5,80 / 6,80 = 0,85$ ;  $a_{II} / d_{II} = 12,10 / 6,80 = 1,78$ ;  $d_{II} / h_{01} = 6,80 / 2,65 = 2,57$ .

$\rho_{cp} = 0,55$  (п. 5.10 СП 52.13330.2016).

$r_0 = 3,79$ .

Определение значений  $\tau_0$  по таблице Б.7 СП 367.1325800.2017:

$\tau_0 = \tau_1 \cdot \tau_2 \cdot \tau_3 = 0,8 \times 0,75 \times 1 \times 0,75 = 0,45$  – общий коэффициент светопропускания;

$\tau_1 = 0,8$  – коэффициент светопропускания материала – стеклопакеты;

$\tau_2 = 0,75$  – коэффициент светопропускания, учитывающий потери света в переплетах – переплеты ПВХ;

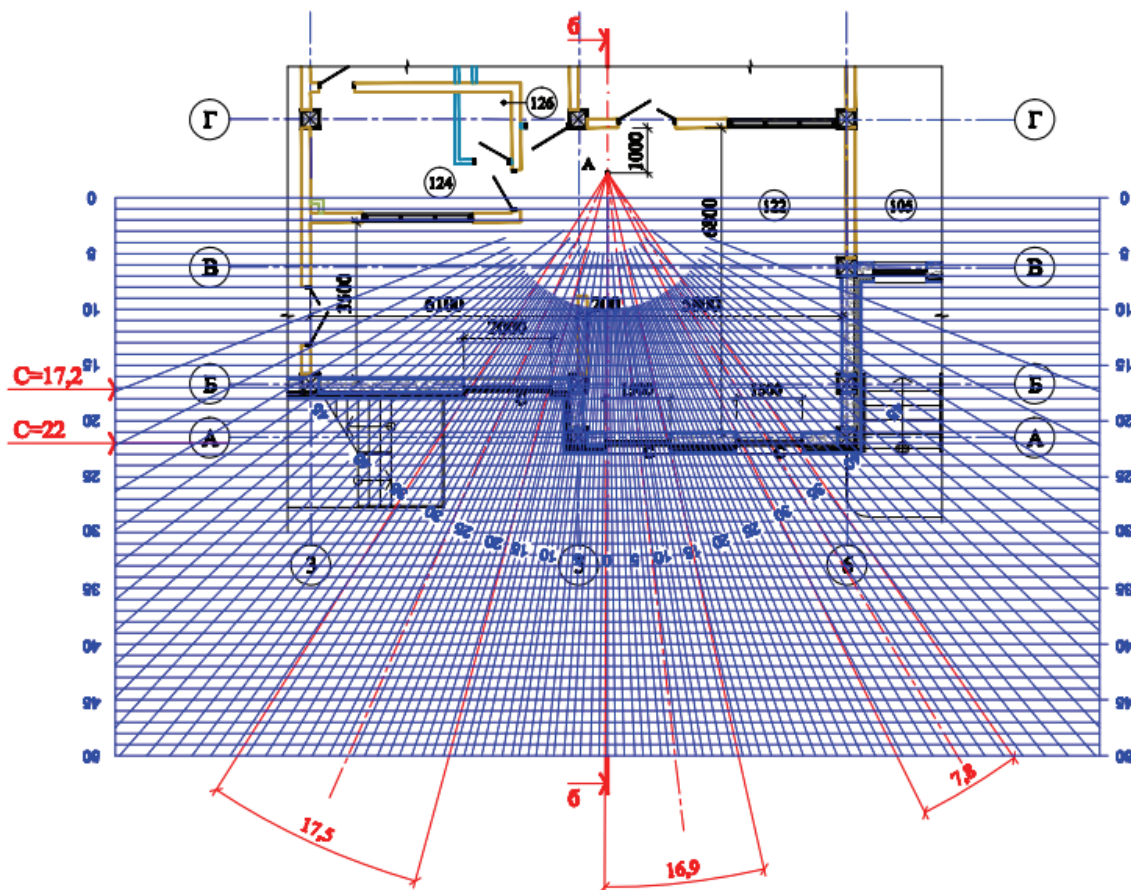


Рисунок 1 – План пом. 122 (игровая комната). Расчетная точка А.

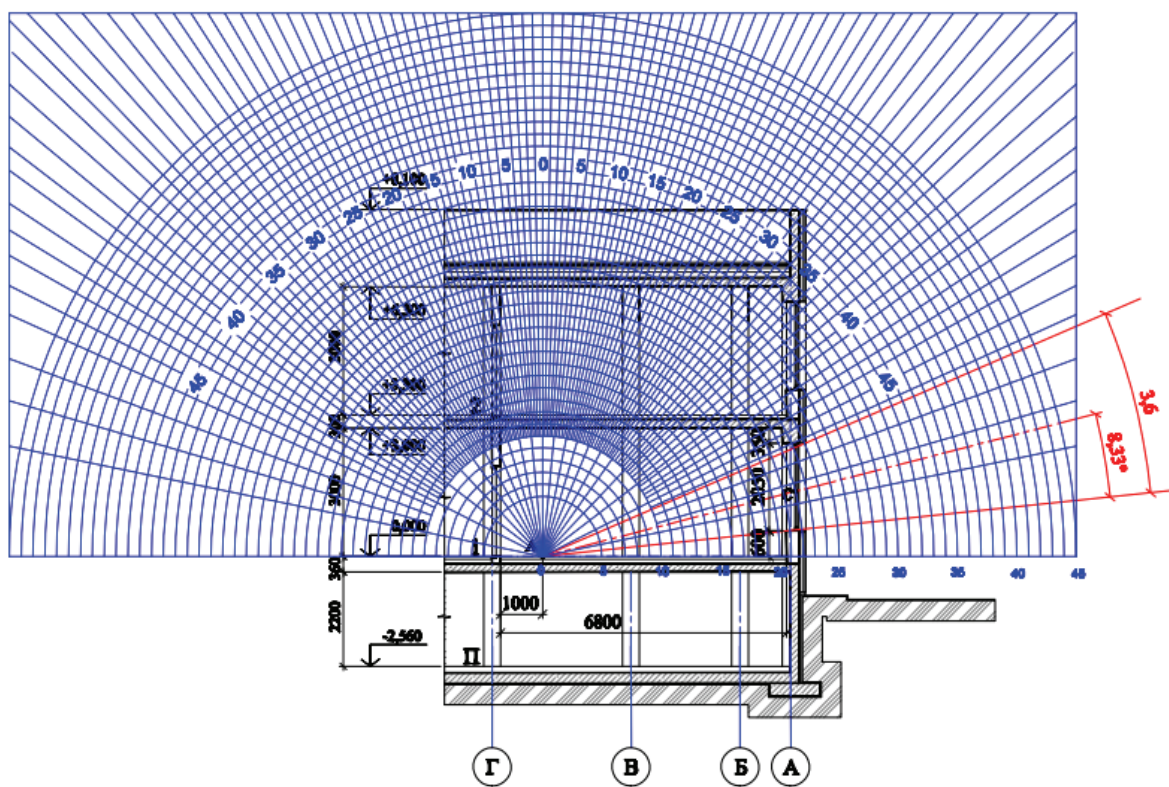


Рисунок 2 – Разрез пом. 122 (игровая комната). Расчетная точка А.

Таблица 1 – Исходные данные пом. 122 (игровая комната)

Наименование параметров	Обозначение параметров	Размеры (м)
глубина помещения	$d_{\Pi}$	6,80
ширина помещения	$a_{\Pi}$	12,10
ширина окна	$b_o$	2,0;
		1,5;
		1,5
высота окна	$h_o$	2,05
высота от уровня пола до верха окна	$h_{oI}$	2,65
высота подоконника над полом	$h_{nd}$	0,60
высота пола над уровнем земли	$h_n$	0,92
толщина стен	$\Delta_{cm}$	0,40
расстояние от расчетной точки до наружной стены	$l_{\Gamma}$	5,80
средневзвешенный коэффициент отражения пола, стен и потолка	$\rho_{cp}$	0,55

$\tau_3$  – коэффициент, учитывающий потери света в несущих конструкциях (при боковом освещении  $\tau_3 = 1$ );

$\tau_4 = 0,75$  – коэффициент светопропускания, учитывающий потери света в солнцезащитных устройствах (вертикальные жалюзи).

$c_N = 1,25$  – коэффициент светового климата, принимаемый по таблице 5.1 СП 52.13330.2016 для юго-восточной ориентации световых проемов.

$MF = 0,83 \times 0,91 = 0,76$  определяемый по таблице 4.3 СП 52.13330.2016. Значение коэффициента эксплуатации, указанные в графе «Естественное освещение», следует умножать на 0,91 – при использовании световых проемов для аэрации.

Полученные значения подставляем в расчетную формулу:

$$e_p^{\delta} = c_N \left( \sum_{i=1}^L \varepsilon_{\delta i} q(\gamma)_i + \sum_{j=1}^M \varepsilon_{\delta j} b_{\phi j} k_{\delta j} \right) \cdot r_o \cdot \tau_o \cdot MF = 1,25 \cdot 1,17 \cdot 3,79 \cdot 0,45 \cdot 0,76 = 1,90 \%$$

Нормативное значение коэффициента естественной освещенности определено с учетом требования СанПиН 2.2.2-2.1.1.1278-03 (таблица 2).

Таблица 2 – Данные расчета КЕО для игровых комнат

этаж	р. т.	Назначение помещения	$e_p^{\delta}$ (расчетное)	$e_n^{\delta}$ (нормируемое)	Примечания
1	A	Пом. 122 – игровая комната	1,90 %	1,88 %	превышает норм. значение
1	B	Пом. 129 – игровая комната	1,90 %	1,88 %	превышает норм. значение
1	D	Пом. 135 – игровая комната	2,16 %	1,88 %	превышает норм. значение

Нормируемое значение КЕО для 2, 3, 4 и 5 групп административных районов равно

$$e_N = e_n^1 c_N \%$$

Керчь находится в 5 группе административных районов по ресурсам светового климата.

$e_n^1 = 1,5 \%$  – для игровых комнат при боковом освещении.

$c_5 = 1,25$  – для юго-восточной ориентации световых проемов, принимается по таблице 5.1 СП 52.13330.2016.

$$e_5 = e_n^1 c_5 = 1,5 \times 1,25 = 1,88 \%$$

Расчётное значение  $e_p^{\delta} = 1,90 \%$  >  $e_5 = 1,88 \%$  следовательно, требования норм выполнены.

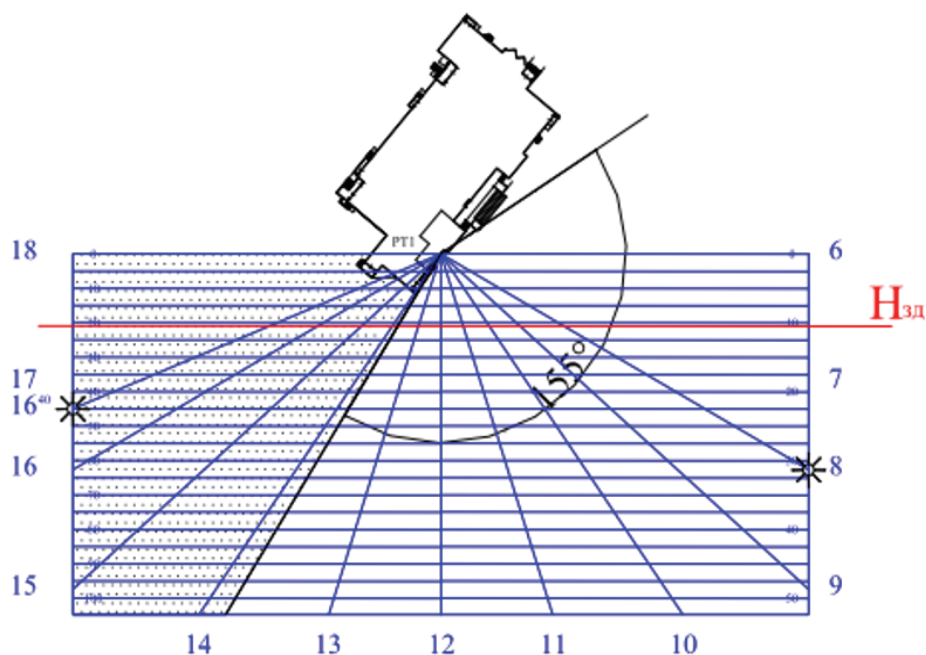
Аналогично выполним расчеты КЕО для точки В (пом. 129) и точки Д (пом. 135).

Результаты расчетов КЕО помещений игровых комнат сведены в табл. 2.

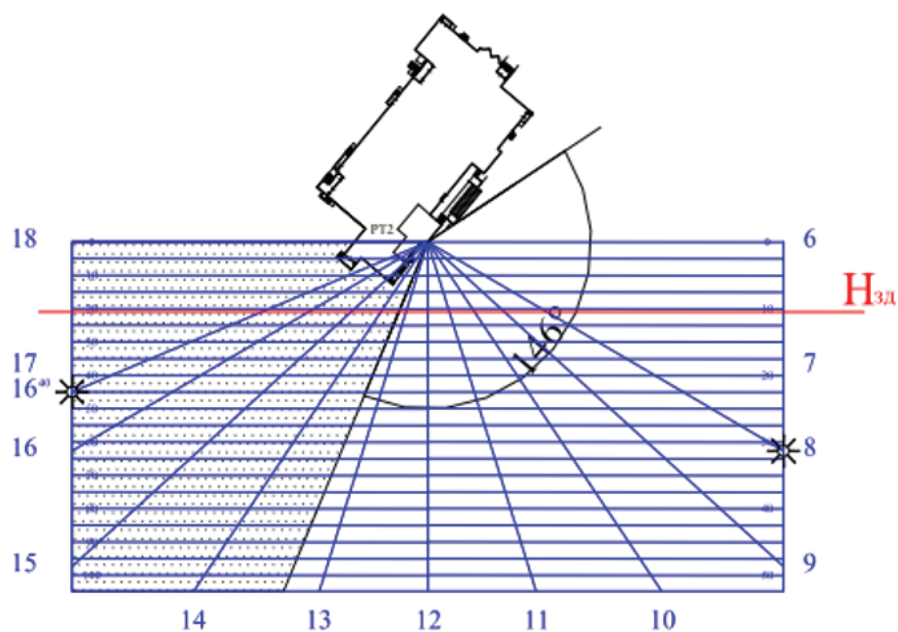
**Расчет инсоляции пом. 122 (игровая комната).**

Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01 «Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий» [6] нормируемая продолжительность непрерывной инсоляции для игровых комнат устанавливается не менее 1,5 ч в день с 22 февраля по 22 октября. Расчетная продолжительность инсоляции определяется в расчетный период с 8<sup>00</sup> до 16<sup>40</sup>. Выполнение нормативных требований в эти дни в большинстве случаев гарантирует их выполнение в течение всего расчетного периода.

Расчет продолжительности инсоляции выполняется для расчетных точек РТ1 и РТ2 в центре окна методом инсоляционной линейки (рис. 3, 4).



**Рисунок 3** – Определение расчетной продолжительности непрерывной инсоляции игровой комнаты (пом. 122) методом инсоляционной линейки: расчетная точка РТ1 (по оси Б в осях 3–5).



**Рисунок 4** – Определение расчетной продолжительности непрерывной инсоляции игровой комнаты (пом. 122) методом инсоляционной линейки: расчетная точка РТ2 (по оси А в осях 5–6).

Инсоляция пом. 122 осуществляется через окно (2,0×2,05 м), расположенное по оси «Б» в осях «3–5» для РТ1 и два окна (1,50×2,05 м) по оси «А» в осях «5–6» для РТ2. Исходные данные представлены в табл. 3.

**Таблица 3** – Исходные данные для расчетных точек РТ1 и РТ2 пом. 122

Наименование параметров	обозначение параметров	размеры (м)
Расчетная точка РТ1 (одно окно)		
ширина окна	$b_o$	2,00
высота окна	$h_o$	2,05
горизонтальный угол инсоляции	$\alpha$	155°
Расчетная точка РТ2 (два окна)		
ширина окна	$b_o$	1,50
высота окна	$h_o$	2,05
горизонтальный угол инсоляции	$\alpha$	146°

Результаты расчета продолжительности инсоляции пом. 122 сведены в табл. 4.

**Таблица 4** – Данные расчета продолжительности непрерывной инсоляции пом. 122

Характеристики расчетной инсоляции, час					Гигиенический норматив инсоляции, час	
р. т.	начало	конец	перерыв	продолжительность		
				расчетная		наибольшая непрерывная
РТ1	8 <sup>00</sup>	13 <sup>50</sup>	–	5 <sup>50</sup>	1 <sup>30</sup>	
РТ2	8 <sup>00</sup>	13 <sup>15</sup>	–	5 <sup>15</sup>		
РТ2	8 <sup>00</sup>	13 <sup>15</sup>	–	5 <sup>15</sup>		

Расчетная продолжительность инсоляции игровой комнаты (пом. 122) равна 550 ч. Нормированное значение продолжительности непрерывной инсоляции, равное 1,5 ч, обеспечено. Аналогично выполняем расчет продолжительности инсоляции для пом. 129 и 135. Результаты расчетов продолжительности инсоляции пом. 122, 129 и 135 сведены в табл. 5.

**Таблица 5** – Результаты расчета продолжительности инсоляции пом. 122, 129 и 135

этаж	р. т.	Назначение помещения	Продолжительность инсоляции, час	Нормативная продолжительность инсоляции, час	Примечания
1	РТ1, РТ2	Пом. 122 - игровая комната	6 <sup>50</sup>	1 <sup>30</sup>	Превышает норм. значение
1	РТ1, РТ2	Пом. 129 - игровая комната	6 <sup>15</sup>		Превышает норм. значение
1	РТ1, РТ2	Пом. 135 - игровая комната	3 <sup>10</sup>		Превышает норм. значение

## ВЫВОДЫ

1. Принятые в проекте объемно-планировочные решения соответствуют требованиям СанПиН 2.2.1-2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий» (с изменениями на 15.03.2010) и СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01 «Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий».

2. Размеры оконных проемов соответствуют СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий» (с

изменениями на 15.03.2010) и СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\*», СанПиН 2.2.1/2.1.1.1076-01 «Гигиенические требования к инсоляции и солнцезащите помещений жилых и общественных зданий и территорий» и обеспечивают необходимое естественное освещение и инсоляцию помещений. Все оконные блоки с открывающимися створками, обеспечивающими их мытье.

3. В игровых комнатах (пом. 122, 129, 135) нормированное значение КЕО, равное 1,88 % обеспечено в расчетной точке, расположенной на пересечении вертикальной плоскости характерного разреза помещения и плоскости пола на расстоянии 1 м от стены, наиболее удаленной от световых проемов.

4. В игровых комнатах (пом. 122, 129, 135) нормированное значение продолжительности непрерывной инсоляции, равное 1,5 ч, обеспечено.

5. В игровых комнатах на втором этаже расчёт КЕО и определение продолжительности непрерывной инсоляции нецелесообразен, т. к. они находятся в лучших условиях по освещенности, чем помещения первого этажа.

6. Проектом учтены требования по ограничению избыточного теплового воздействия инсоляции. Для ограничения теплового воздействия на помещения игровых комнат (в первую очередь имеющих юго-западную и западную ориентацию светопроемов) предусмотрены конструктивные и технические средства солнцезащиты, такие как кондиционирование и вертикальные жалюзи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гигиеническое нормирование естественного освещения: проблемы, задачи, международный опыт / И. И. Новикова, Н. А. Зубцовская, М. А. Лобкис [и др.]. – DOI: 10.35627/2219-5238/2020-324-3-10-15. – Текст : электронный // Здоровье населения и среда обитания – ЗНИСО. – 2020. – № 3 (324). – С. 10–15. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42637473> (дата обращения: 11.10.2023). – EDN: STAEEWW.
2. Блинов, В. А. Совершенствование естественного освещения в жилых и офисных зданиях / В. А. Блинов, Л. Н. Смирнов, В. В. Блинов. – Текст : электронный // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2012. – № 2. – С. 30–33. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-estestvennogo-osvescheniya-v-zhilyh-i-ofisnyh-zdaniyah> (дата обращения: 11.10.2023).
3. Уйма, А. Требования по освещению помещений в нормативных документах республики Польша и их связь с энергосбережением / А. Уйма. – Текст : электронный // Жилищное строительство. – 2015. – № 6. – С. 35–40. – URL: [https://www.elibrary.ru/download/elibrary\\_23754568\\_91655557.pdf](https://www.elibrary.ru/download/elibrary_23754568_91655557.pdf) (дата обращения: 11.10.2023). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей.
4. Матус, Е. П. Особенности расчета инсоляции и естественного освещения в условиях точечной застройки / Е. П. Матус, М. И. Желободько, Е. Д. Качанова. – Текст : электронный // Современное строительство и архитектура. – 2019. – № 2(14). – С. 14–18. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37711439> (дата обращения: 11.10.2023). – EDN: ZKEZFR.
5. Стецкий, С. В. Сравнительный анализ функциональных характеристик солнцезащитных средств для гражданских зданий в условиях жаркого и солнечного климата / С. В. Стецкий. – Текст : электронный // Светотехника. – 2017. – № 3. – С. 29–33. – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29677245> (дата обращения: 11.10.2023). – EDN: YZLCMZ.

Получена 16.10.2023

Принята 27.10.2023

**Т. О. ЧЕРНИШЕВА, Б. О. НОВІКОВ, О. І. БОДАЧЕВСЬКИЙ**  
**МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИРОДНОГО СВІТЛОВОГО СЕРЕДОВИЩА В**  
**ПРИМІЩЕННЯХ ДИТЯЧОГО ДОШКІЛЬНОГО ЗАКЛАДУ**  
**ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», Російська**  
**Федерація, Донецька Народна Республіка, м. о. Макіївський, м. Макіївка**

**Анотація.** Дана стаття присвячена питанням формування природного світлового середовища в приміщеннях будівлі дитячого садка – ігрових кімнатах на першому і другому поверхах. На основі архітектурних і конструктивних рішень будівлі проводиться вибір системи освітлення. В наслідок цього розрахунок природного освітлення з урахуванням тривалості безперервної інсоляції в приміщеннях будівлі дитячого садка є одним з основоположних аспектів проектування. У статті наведено розрахунки коефіцієнтів природної освітленості і тривалості безперервної інсоляції для ігрових кімнат у випадку планування внутрішнього простору будівлі дитячого садка. Оцінка природного освітлення приміщень зроблена графоаналітичним методом згідно з вимогами санітарно-гігієнічних і будівельних норм. Також наведені нормативні вимоги до природного освітлення в приміщеннях дитячих дошкільних закладів.



Оцінка умов інсоляції приміщення через віконні прорізи здійснювалася методом інсоляційної лінійки. Отримані розрахункові значення коефіцієнтів природної освітленості і тривалості інсоляції для ігрових кімнат задовольняють вимогам нормативних документів.

**Ключові слова:** світлове середовище, природне освітлення, інсоляція, коефіцієнт природної освітленості, інсоляційна лінійка.

TAMARA CHERNYSHEVA, BOGDAN NOVIKOV, OLEG BODACHEVSKIY  
METHODS FOR STUDYING THE NATURAL LIGHT ENVIRONMENT IN THE  
PREMISES OF A PRESCHOOL INSTITUTION  
FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian  
Federation, Makeevka

**Abstract.** This article is devoted to the formation of a natural light environment in the premises of a kindergarten building – playrooms on the first and second floors. Based on the architectural and structural solutions of the building, the lighting system is selected. All this makes the calculation of natural lighting, taking into account the duration of continuous insolation in the premises of a kindergarten building, one of the fundamental aspects of design. The article provides calculations of the coefficients of natural illumination and the duration of continuous insolation for playrooms when planning the internal space of a kindergarten building. The assessment of natural lighting in the premises was carried out using a graphic-analytical method in accordance with the requirements of sanitary, hygienic and building standards. Regulatory requirements for natural lighting in the premises of preschool institutions are also given. The insolation conditions of the room through window openings were assessed using the insolation ruler method. The obtained calculated values of the coefficients of natural illumination and the duration of continuous insolation for playrooms satisfy the requirements of regulatory documents.

**Keywords:** light environment, natural lighting, insolation, natural light coefficient, insolation line.

**Чернышева Тамара Александровна** – кандидат технических наук, доцент кафедры проектирования зданий и строительной физики ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: вопросы звукоизоляции легких многослойных ограждений, проектирование зданий.

**Новиков Богдан Александрович** – ассистент кафедры проектирования зданий и строительной физики ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: термомодернизация зданий, энергоэффективность зданий, обследование технического состояния и реконструкция зданий и сооружений поврежденных в результате боевых действий.

**Бодачевский Олег Игоревич** – магистрант кафедры проектирования зданий и строительной физики ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: внутренняя световая среда жилых и общественных зданий; вопросы освещения зданий; проектирование зданий.

**Чернышева Тамара Олександрівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри проектування будівель і будівельної фізики ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: питання звукоізоляції легких багатошарових огорожень, проектування будівель.

**Новіков Богдан Олександрович** – асистент кафедри проектування будівель і будівельної фізики ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: термомодернізація будівель, енергоефективність будівель, обстеження технічного стану та реконструкція будівель і споруд пошкоджених в результаті бойових дій.

**Бодачевський Олег Ігоревич** – магістрант кафедри проектування будівель і будівельної фізики ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: внутрішнє світлове середовище житлових і громадських будівель, питання освітлення будівель; проектування будівель.

**Chernysheva Tamara** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Building Design and Structural Physics Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: questions sound insulation of light multi-layer fences, designing of buildings.

**Novikov Bogdan** – Assistant, Building Design and Structural Physics Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: thermal modernization of buildings, energy efficiency of buildings, inspection of technical condition and reconstruction of buildings and structures damaged as a result of hostilities.

**Bodachevskiy Oleg** – master’s student, Building Design and Structural Physics Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: internal light environment of residential and public buildings, studies are mainly focused on construction and lighting planning.

EDN: **FMDTFO**

УДК 678.686

**Е. Э. САМОЙЛОВА, Т. Д. ЛЫСИКОВА**ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевский, г. Макеевка

## **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ ПРОИЗВОДСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ**

**Аннотация.** Заводы по производству асфальтобетонных смесей, предназначенных для строительства, ремонта и реконструкции, автомобильных дорог, являются активными источниками воздействия на окружающую среду. При этом основной вклад в загрязнение атмосферного воздуха вносится выбросами неорганической пыли с размерами частиц до 20 мкм. Для повышения экологической безопасности асфальтобетонного завода необходимо усовершенствование технологических процессов, сопровождаемых пылением, обеспечение системы очистных установок, задерживающих цементную пыль и песок, что позволит максимально снизить уровень запыленности атмосферного воздуха и создать благоприятные условия для проживания в относительной близости к асфальтобетонному предприятию. Данная статья посвящена комплексу технологических решений для эффективной работы пылеулавливающих систем, при которых не происходит превышения установленных нормативов выбросов пыли и загрязнения окружающей среды. Описываются решения, направленные на повышение эффективности систем пылеулавливания с вихревыми инерционным и аппаратами на встречных закрученных потоках.

**Ключевые слова:** пылеулавливающие системы, экологическая безопасность, асфальтосмесительная установка, вихревые инерционные центробежные пылеулавливатели

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

В настоящее время особого внимания заслуживают разработки перспективных пылеулавливающих аппаратов [4-8], обеспечивающих высокую эффективность очистки выбросов и уменьшение энергозатрат на очистку. Асфальто-смесительные установки являются источником выделения пыли как при осуществлении производственного процесса, так и вследствие превышения давления над атмосферным в узлах и агрегатах. Постоянно повышающиеся экологические требования к асфальтобетонным заводам (АБЗ) предопределяют совершенствование систем пылеулавливания и очистки газов на асфальто-смесительных установках (АСУ).

**Цель работы** – повышение эффективности установок по обеспылеванию выбросов от асфальто-смесительных установок.

Для повышения экологической безопасности асфальтобетонного завода необходимо предусмотреть тщательную гидроизоляцию силосов для хранения цемента, скиповые подъемники с минимальным выбросом пыли для подачи инертных материалов в бетоносмеситель, ленточные транспортеры, помещенные в пластиковый разборный кожух. Тщательная герметизация укрытий на 80...90 % гарантирует устранение возможности попадания пыли за пределы кожухов.

Также необходимо усовершенствование технологических процессов, сопровождаемых пылением, а именно:

- установление точного тензометрического весового оборудования, которое обеспечивает погрешность дозирования инертных компонентов в 2 %, а погрешность дозирования вяжущих и химических добавок – 1 %;
- интегрирование системы автоматизации асфальтобетонного завода, позволяющее контролировать все операции, осуществляемые оборудованием, для снижения экологической нагрузки на окружающую среду;
- обеспечение системы очистных установок, задерживающих цементную пыль и песок.



Для эффективной работы пылеулавливающих систем, при которой не происходит превышения установленных нормативов выбросов пыли и загрязнения окружающей среды, необходимо:

- широкое внедрение вихревых инерционных центробежных пылеуловителей, обеспечивающих более высокую, чем в циклонах, степень улавливания пыли различной дисперсности;
- установление удельных показателей выбросов пыли для различных асфальтосмесительных установок в целях осуществления контроля их работы и регулирования качества очистки;
- разработка новых способов приготовления асфальта с меньшим пылеобразованием [1, 2].

Для очистки технологических газов, с целью их обезвреживания, применяют следующее оборудование и технологические приемы [3]:

- механические «сухие» пылеуловители, принцип работы которых основан на действии гравитационной силы (пылеосадительные камеры), силы инерции (инерционные пылеуловители) или центробежной силы (циклоны, батарейные циклоны, вращающиеся пылеуловители и т. д.);
- пористые фильтры (рукавные, плоские, клиновидные, зернистые и др.), степень очистки газов в которых при соблюдении правил технической эксплуатации достигает 99,9 %;
- электрофильтры, принцип действия которых основан на методе электроосаждения (улавливание пыли в электрическом поле), применяются там, где необходимо очищать очень большие объемы газа и отсутствует опасность взрыва;
- аппараты «мокрого» пылеулавливания капельного, пленочного или барботажного типов (ротоклоны, трубы Вентури и другие инжекторы). Процесс улавливания пыли в них представляется как перенос твердой фазы из газовой среды в жидкую и удаление последней из аппарата вместе с твердой фазой.

Также значительное выделение пыли может происходить в результате загрузки и разгрузки силосов минерального порошка и дозирования порошка в смеситель.

Установка нормативов допустимых выбросов и технологических нормативов выбросов российским законодательством ведет к необходимости использовать пылеулавливающее оборудование разных типов, в том числе вихревых инерционных аппаратов со встречными закрученными потоками (ВЗП) [4].

В работах [5; 6] приведены результаты теоретического изучения закономерностей процессов обеспыливания воздуха в таких аппаратах, а в работах [7; 8] представлены данные, полученные при экспериментальных исследованиях их эффективности. Материалы, приведенные в [7; 8], демонстрируют опыт и перспективность использования аппаратов ВЗП в производстве строительных материалов, а также в других отраслях промышленности для защиты атмосферного воздуха от пылевого загрязнения.

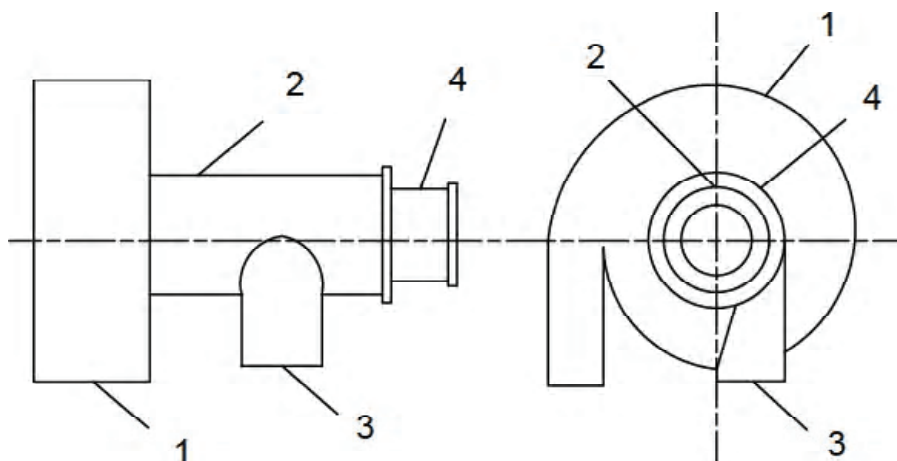
В некоторых работах [9; 10] отмечено, что подача на нижний ввод аппарата потока с меньшим содержанием пыли или даже незапыленного воздуха [4] способствует повышению эффективности пылеочистки. Однако необходимо учитывать, что подача чистого воздуха повлечет за собой повышение расхода, проходящего через пылеуловитель потока, соответственно – возрастание скорости в аппарате и сопутствующее этому увеличение проскока пылевых частиц. Устранению этой проблемы при одновременном решении задачи повышения эффективности пылеулавливания может способствовать использование разделителя-концентратора (пылеконцентратора).

Поэтому, чтобы повысить эффективность установок обеспыливания выбросов с аппаратами ВЗП предлагается использовать в этих установках пылеконцентратор. Для этого необходимо разработать компоновку системы пылеулавливания с аппаратами ВЗП и разделителем концентратором.

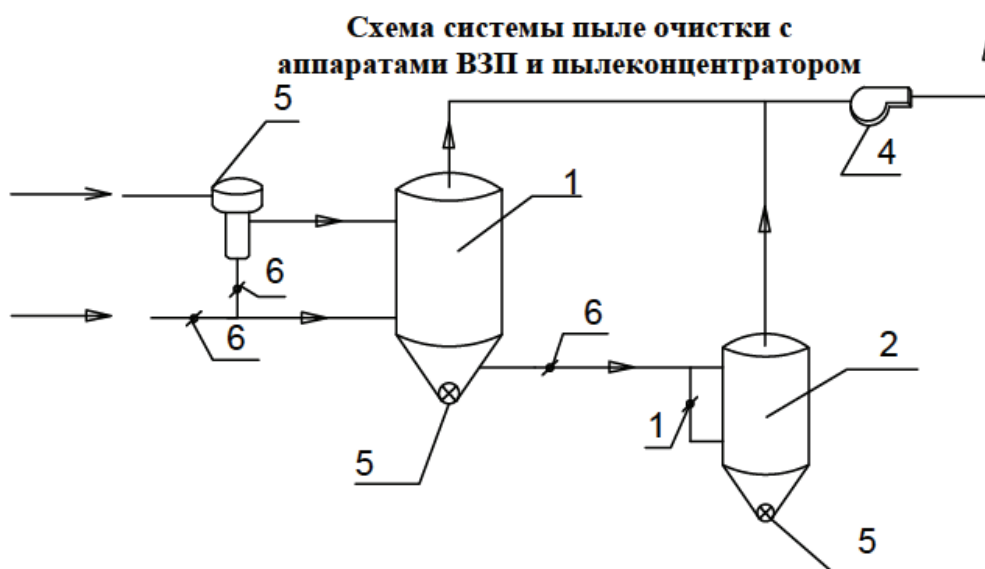
Разделитель-концентратор представляет собой устройство, состоящее из улиточного закручивателя, сепарационной камеры, тангенциального патрубка и аксиального патрубка. В пылеконцентраторе под действием инерционных сил происходит сепарация пылевых частиц и разделение пылевоздушного потока на два. Один из них с высокой концентрацией пыли отводится через тангенциальный патрубок, второй с малой запыленностью – через аксиальный патрубок. На рисунке 1 представлена схема пылеконцентратора.

Пример компоновочной схемы системы пылеулавливания с аппаратами ВЗП и разделителем-концентратором приведен на рисунке 2.

Результаты теоретического изучения закономерностей процессов обеспыливания воздуха в таких аппаратах приведены в работах [5–7], а в работах [8, 9] представлены данные, полученные при экспериментальных исследованиях их эффективности. Опыт и перспективность использования аппаратов ВЗП в производстве асфальтобетонов для защиты атмосферного воздуха от пылевого загрязнения приводятся в материалах [4, 5]. Для этого производства необходима очистка больших,



**Рисунок 1** – Схема пылеконцентратора: 1 – улиточный закручиватель; 2 – сепарационная камера; 3 – тангенциальный патрубок; 4 – аксиальный патрубок.

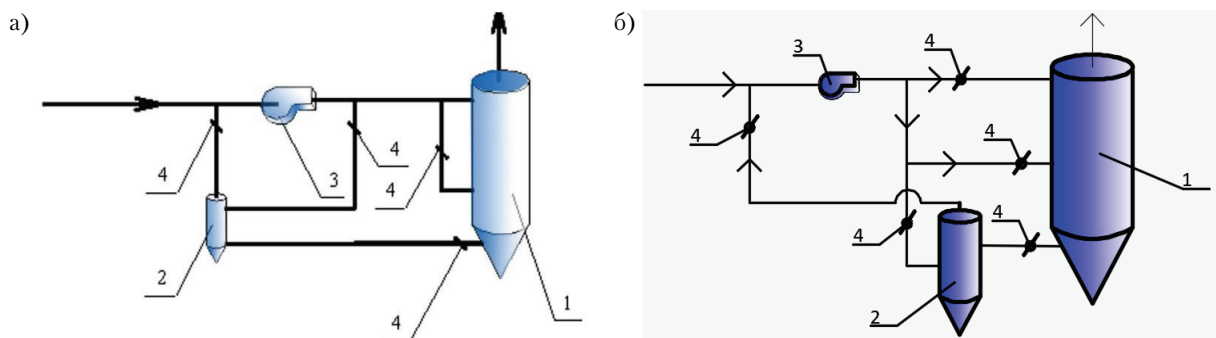


**Рисунок 2** – Схема системы пылеочистки с аппаратами ВЗП и пылеконцентратором: 1 – основной вихревой инерционный аппарат со встречными закрученными потоками (ВЗП); 2 – дополнительный пылеуловитель; 4 – вентилятор; 5 – пылеконцентратор; 6 – заслонки.

чем 8 000 м<sup>3</sup>/ч объемов пылевоздушной смеси, поэтому для компоновки установки пылеочистки предлагаются схемы, представленные на рисунке 3.

### ВЫВОДЫ

Из вышеизложенного следует, что для повышения эффективности пылеулавливания необходимо внедрять вихревые инерционные центробежные пылеулавливатели, обеспечивающие более высокую, чем в циклонах, степень улавливания пыли различной дисперсности. В связи с этим предложена установка системы пылеочистки с аппаратами ВЗП и пылеконцентратором, подмешивание незапыленного воздуха и организация отсоса из бункерной зоны основного пылеуловителя для защиты атмосферного воздуха от пылевого загрязнения при производстве асфальтобетон.



**Рисунок 3** – Схемы компоновки систем пылеулавливания с параллельной установкой основного и дополнительного аппаратов ВЗП: а) подача в оба аппарата потоков пылевоздушной смеси с одинаковой концентрацией пыли (основной аппарат); б) подача чистого воздуха на нижний ввод дополнительного аппарата 1 – бункер основного аппарата; 2 – дополнительный аппарат ВЗП с меньшим диаметром; 3 – вентилятор; 4 – заслонки.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Проблемы экологической безопасности дорожно-строительных и ремонтных работ / Е. В. Путинцева, М. С. Агафонова, В. С. Малыхина [и др.]. – Текст : электронный // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2017. – Том 2. – С. 519–529. – URL: <http://e-koncept.ru/2017/570103.htm> (дата обращения: 22.09.2023).
2. Чуприна, Е. В. Охрана окружающей среды в строительстве : учебно-методическое пособие / Е. В. Чуприна, М. Н. Закирова. – Самара : Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2019. – 59 с. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/111638.html> (дата обращения: 02.09.2022). – Режим доступа: для авторизир. пользователей.
3. Технологические и конструктивные характеристики асфальтового завода. – Текст : электронный // asphaltmix.ru : [сайт]. – URL: [http://www.asphaltmix.ru/choose\\_abz.html](http://www.asphaltmix.ru/choose_abz.html) (дата обращения 12.10.2023).
4. Сергина, Н. М. Аппараты вихревые с закрученными потоками с отсосом из бункерной зоны в инерционных системах пылеулавливания / Н. М. Сергина. – Текст : непосредственный // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 11 (133). – С. 43–46.
5. Луканин, Д. В. Экспериментальные исследования эффективности улавливания пылеуловителей на встречных закрученных потоках / Д. В. Луканин, Е. В. Гладков. – Текст : непосредственный // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 12(134). – С. 140–143.
6. Сергина, Н. М. Теоретическая оценка эффективности вихревых пылеуловителей с отсосом из бункерной зоны / Н. М. Сергина, Д. В. Азаров. – Текст : непосредственный // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 11 (133). – С. 47–51.
7. Сергина, Н. М. Экологическая эффективность, принципы компоновки и надежность систем пылеулавливания с вихревыми аппаратами на встречных закрученных потоках / Н. М. Сергина. – Текст : непосредственный // Вестник ВолгГАСУ: Строительство и архитектура. – 2017. – № 42(61). – С. 108–117.
8. Bogomolov, A. N. On inertial systems, dust cleaning and dust removal equipment, and work areas in the production of aerated concrete from the hopper suction apparatus CSF / A. N. Bogomolov, N. M. Sergina, T. O. Kondratenko. – Текст : непосредственный // Procedia Engineering. – 2016. – Volume 150. – P. 2036–2041.
9. Stefanenko, I. V. Experimental Optimization of Dust Collecting Equipment Parameters of Counter Swirling Flow with Coaxial Leadthrough for Air Ventilation System and Dust Elimination / I. V. Stefanenko, V. N. Azarov, D. P. Borovkov. – DOI: 10.1088/1755-1315/224/1/012037. – Текст : непосредственный // IOP Conferences Series: Earth and Environmental Science : all-russian research-to-practice conference on ecology and safety in the technosphere: current problems and solutions, Est 2018, Yurga, 22–24 ноября 2018 года. – Yurga : Institute of Physics Publishing, 2019. – Том 224, № 1. – 224 p. – P. 1–9.

Получена 18.10.2023

Принята 27.10.2023

О. Е. САМОЙЛОВА, Т. Д. ЛИСИКОВА  
ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ ГАЗОВИХ ВИКИДІВ  
ВИРОБНИЦТВА АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ  
ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», Російська  
Федерація, Донецька Народна Республіка, м. о. Макіївський, м. Макіївка

**Анотація.** Заводи з виробництва асфальтобетонних сумішей, призначених для будівництва, ремонту та реконструкції, автомобільних доріг, є активними джерелами впливу на навколишнє середовище.

При цьому основний внесок у забруднення атмосферного повітря вноситься викидами неорганічного пилу з розмірами частинок до 20 мкм. Для підвищення екологічної безпеки асфальтобетонного заводу необхідно удосконалення технологічних процесів, супроводжуваних пилом, забезпечення системи очисних установок, що затримують цементний пил і пісок, що дозволить максимально знизити рівень запиленості атмосферного повітря і створити сприятливі умови для проживання у відносній близькості до асфальтобетонного підприємства. Ця стаття присвячена комплексу технологічних рішень для ефективної роботи пиловловлювальних систем, при яких не відбувається перевищення встановлених нормативів викидів пилу і забруднення навколишнього середовища. Описуються рішення, спрямовані на підвищення ефективності систем пиловловлювання з вихоровими інерційними апаратами на зустрічних закручених потоках.

**Ключові слова:** пиловловлювальні системи, екологічна безпека, асфальтозмішувальна установка, вихрові інерційні відцентрові пиловловлювачі.

HELEN SAMOJLOVA, TATIANA LYSIKOVA  
IMPROVING THE TECHNOLOGY OF CLEANING GAS EMISSIONS FROM THE  
PRODUCTION OF ASPHALT CONCRETE MIXTURES  
FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian  
Federation, Makeevka

**Abstract.** Plants for the production of asphalt concrete mixtures intended for the construction, repair and reconstruction of highways are active sources of environmental impact. At the same time, the main contribution to atmospheric air pollution is made by emissions of inorganic dust with particle size up to 20 microns. To improve the environmental safety of the asphalt concrete plant, it is necessary to improve the technological processes accompanied by dust, to provide a system of treatment plants that trap cement dust and sand, which will minimize the level of dust in atmospheric air and create favorable conditions for living in relative proximity to the asphalt concrete enterprise. This article is devoted to a set of technological solutions for efficient operation of dust collection systems, at which the established standards for dust emissions and environmental pollution do not exceed. Described are solutions aimed at increasing efficiency of dust collection systems with vortex inertia devices on opposite twisted flows.

**Keywords:** dust collection systems, environmental safety, asphalt mixer, vortex inertial centrifugal dust collectors.

**Самойлова Елена Эдуардовна** – кандидат технических наук, доцент кафедры физики и прикладной химии, кафедры техносферной безопасности ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: физико-химические исследования полимерных композиционных материалов, технология рекуперации вторичных материалов промышленности.

**Лыскова Татьяна Дмитриевна** – магистрант кафедры техносферной безопасности ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: утилизация, использование дорожных отходов, как вторичное сырьё в строительстве.

**Самойлова Олена Едуардівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри фізики та прикладної хімії; кафедри техносферної безпеки ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: фізико-хімічні дослідження полімерних композиційних матеріалів, технологія рекуперації вторинних матеріалів промисловості.

**Лыскова Тетяна Дмитрівна** – магістрант кафедри техносферної безпеки ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: утилізація, використання дорожніх відходів як вторинна сировина у будівництві.

**Samojlova Helen** – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Physics and Applied Chemistry Department, Technosphere Safety Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: physico-chemical studies of polymer composite materials, technology for recovery of secondary industrial materials.

**Lysikova Tatiana** – master's student, Technosphere Safety Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: recycling, use of road waste as secondary raw materials in construction.

EDN: PEAXSL

УДК 691+69.059.643, 504.06

**С. Е. ГУЛЬКО<sup>а</sup>, Н. Г. НАСОНКИНА<sup>б</sup>, Д. Г. СОКОЛОВ<sup>б</sup>, С. Е. АНТОНЕНКО<sup>б</sup>, В. С. ЗАБУРДАЕВ<sup>б</sup>**<sup>а</sup> Донгирошахт, Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. Донецк;<sup>б</sup> ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры», Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевский, г. Макеевка

## **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ ТЭС ДНР В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

**Аннотация.** Представлен анализ мирового опыта утилизации золошлаковых и строительных отходов. На примере Старобешевской ТЭС изучены условия формирования золошлаковых отходов, их минеральный состав, качественно-количественные показатели и их влияние на окружающую среду. Показано, что золоотвалы занимают большие территории, а их содержание требует значительных эксплуатационных затрат. Разработана технологическая схема извлечения микросферы и сопутствующих компонентов из золы уноса с учетом обеспечения замкнутой системы оборотного водоснабжения. Обоснована концепция и предложена многокритериальная модель совместной переработки золошлаковых и строительных отходов. Выполнена оценка переработки микросферы и строительных отходов во вторичные ресурсы, с последующим их применением для строительных материалов и дорожного покрытия. Отмечается, что совместное использование строительных отходов и ЗШО представляет сочетание коммерческих и технических показателей – наличием ресурсов, невысокой стоимости, высокой прочности и химической стойкости.

**Ключевые слова:** микросфера, зола, отходы, отвалы, шлак, золошлаковая смесь.

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ И АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Россия занимает четвертое место в мире по объему производства тепловой энергии. Объектами тепловой генерации в настоящее время вырабатывается свыше 60 % от всей энергии, производящейся на территории страны.

Процесс сжигания топлива сопровождается образованием золошлаковых отходов (далее ЗШО), объём, минералогический и химический состав которых определяется месторождением, марочным составом угля, способом шлакозолоудаления в котлоагрегатах. Общее количество золы и шлака в золоотвалах России составляет более 1,5 млрд т, а площадь, занимаемая отвалами превышает 220 км<sup>2</sup> [2, 3].

Золоотвалы постоянно пылят, а подвижные формы отходов вымываются осадками, загрязняя окружающую среду. Утилизация ЗШО имеет важное экологическое, экономическое и энергосберегающее значение.

Золошлаковые отходы можно использовать в производстве различных бетонов, строительных растворов, в дорожном строительстве и других отраслях [13, 17]. Наибольшее применение нашла зола уноса. Использование ее в хозяйственных целях ограничено токсичностью отходов.

Из составляющих ЗШО практический интерес представляют железосодержащий магнитный концентрат, вторичный уголь, микросфера, инертная масса алюмосиликатного состава и тяжелая фракция.

Многочисленные исследования [2–13] свидетельствуют о положительных результатах по извлечению ценных компонентов, в том числе и микросферы.

Для выделения микросферы на действующих ТЭС Российской Федерации используются [3, 7–13] следующие схемы: а) извлечения микросферы с поверхности золоотвалов; б) выделение микросферы из пульпы золы уноса; в) улавливания сухой золы уноса с дальнейшим использованием в строительной промышленности; г) переработка микросферы из золоотвала с производством товарной

© С. Е. Гулько, Н. Г. Насонкина, Д. Г. Соколов, С. Е. Антоненко, В. С. Забурдаев, 2023





микросферы на специализированных предприятиях и д) комбинированная схема извлечения микросферы. Степень использования ЗШО по стране не превышает 10 % [2, 3]. Сложившаяся ситуация предопределяет необходимость более широкого внедрения переработки ЗШО на территории России с последующей утилизацией полученных продуктов.

Лидером переработки зольных отходов является Индия, на территории которой перерабатывается до 30 млн т ежегодно [1, 3]. В европейских странах перерабатывается от 70 до 100 % от общего количества золошлакоотходов [3]. Высокий уровень утилизации ЗШО обеспечивается широким внедрением технологий комплексной переработки отходов ТЭЦ. Например, компания «Zola new technology» [4] использует технологию переработки с получением магнитного концентрата, алюмосиликатной микросферы, редкоземельных металлов. Компания Omega Minerals Group [3, 5] проводит извлечение микросферы на стадии механизированной добычи легких фракций золы с поверхности намываемых карт гидрозолошлакоотвалов. Применение технологии электростатической сепарации [3, 6] позволяет снизить содержание углерода в золе уноса, в результате образуется зола с низким содержанием углерода, известного под торговой маркой ProAsh (зола ProAsh), который применяется при производстве бетона.

Известно свыше 300 технологий по переработке и использованию ЗШО в строительстве и для производства стройматериалов, но в них не затрагиваются вопросы возможного комплексного использования ЗШО и строительных отходов.

**Цель работы:** исследование состава золы уноса на примере Старобешевской ТЭС, разработка и обоснование выбора экологически безопасной технологии выделения микросферы из золы – уноса ТЭС и оценка возможности ее использования совместно со строительными отходами для производства стройматериалов.

## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Топливо-энергетический комплекс Донецкой Народной Республики представлен угольной отраслью и предприятиями генерации электроэнергии.

Промышленные запасы месторождений энергетического угля марки Т и А в границах Донецкой Народной Республики составляют 742 709,0 тыс. т. Запасы угля газовой группы – 162 201,0 тыс. т (уголь марки Д, ДГ). Генерацию электроэнергии в Донецкой Народной Республике осуществляют две теплоэлектростанции: ОП «Зуевская ТЭС» и ОП «Старобешевская ТЭС».

Проблема образования и накопления золоотвалов возле ТЭС является актуальной для нашего региона. Золоотвалы занимают большие территории, а их содержание требует значительных эксплуатационных затрат, которые в свою очередь влияют на повышение себестоимости производства энергоносителей.

Самым ценным компонентом золы-уноса является алюмосиликатная микросфера.

Выделение микросферы на действующих электростанциях Донецкой Народной Республики производится с водной поверхности золошлаковых отвалов малоэффективным немеханизированным способом. Учитывая сложившееся положение, необходимо разработать технологическую схему по выделению микросферы и сопутствующих компонентов из золы уноса для ТЭС ДНР.

Рассмотрим схему получения микросферы на примере Старобешевской ТЭС. ТЭС поставляет электроэнергию на территорию Донецкой Народной Республики (обеспечивает электроэнергией города Донецк, Макеевку, Докучаевск, Амвросиевку, Старобешево и пгт Еленовку) и частично на территорию Луганской Народной Республики.

Основное топливо – это низкорреакционный уголь марок «А» и «Т», а также шлам и высокозольный АШ. В связи с пониженной реакционной способностью углей марки А и Т для подсветки используется природный газ. Качественная характеристика добываемых углей и концентрата приведена в таблице 1.

Для сжигания в котлоагрегатах предусматривается использование шихты углей марки А в количестве – 50 % и марки Т в количестве – 50 %. Показатели качества концентратов и шихты, которая готовится на электростанциях, приведены в таблице 2.

Химический состав золы угольного концентрата приведен в таблице 3.

В результате сжигания угольного концентрата образуются зола-унос и шлак. Химический состав золы уноса и шлака играет определяющую роль для оценки их использования в народном хозяйстве.

При сжигании углей газовой группы в котлоагрегатах с жидким шлакоудалением доля шлака составляет 20 % [7], доля золы уноса в общем объеме шлаковых отходов – 80 %. Их химический состав представлен в таблице 4.

Таблица 1 – Качественная характеристика углей и концентрата

№ п/п	Марка	Зола, %	Влага, %	Сера, %	Выход летучих $V^{daf}$ , %	Теплота сгорания $Q_p^{н.}$ Ккал/кг	Примечание
1	Т	40,2	6,9	3,3	13,7	4 583	уголь («Макеевуголь»)
2	Т	36	5,5	2,4	6,6	4 946	уголь (шахта «Комсомолец Донбасса»)
3	Т	24,4	13,3	2,6	13,7	5 400	концентрат («Макеевуголь»)
4	Т	19,13	7,3	1,58	6,6	6 159	концентрат (шахта «Комсомолец Донбасса»)
5	А	33,7	7,3	1,3	3,1	4 862	уголь («Горезантрацит»)
6	А	37,5	7,4	1,4	5,5	4 588	уголь (шахта «Шахтёрская-Глубокая»,)
7	А	18,5	8,1	1,3	3,1	5 990	концентрат (ГОФ «Красная Звезда»)
8	А	25,0	11,0	1,4	5,5	5 284	концентрат (ЦОФ «Шахтерская»)

Таблица 2 – Показатели качества концентратов и шихты

Угольный концентрат шахты	Доля в угольной шихте	Марка	Зола, %	Влага, %	Сера, %	Выход летучих $V^{daf}$ , %	Теплота сгорания $Q_p^{н.}$ Ккал/кг
Шахта «Комсомолец Донбасса»	0,5	Т	19,13	7,3	1,58	6,6	6 159
шахты «Горезантрацит»	0,5	А	18,5	8,1	1,3	3,1	5 990
Итого	1,00	–	18,8	7,7	1,44	4,85	6 075

Таблица 3 – Химический состав золы угольного концентрата марки Т

Химические соединения	$SiO_2$	$TiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	$CaO$	$MgO$	$K_2O$	$Na_2O$	$P_2O_5$	$SO_3$	П.п.п.*	Марка
Содержание, %	38,00	0,66	19,77	22,62	3,80	1,37	2,00	1,35	0,39	3,48	6,57	Т
Содержание, %	39,7	0,65	17,95	24,4	5,2	3,4	2,6	1,1	0,45	4,25	23,60	А
Содержание, %	38,85	0,7	18,86	23,51	4,5	2,4	2,3	1,2	0,42	3,86	15,0	шихта

\* – Потери при прокаливании

Сравнительная характеристика химического состава золошлаковой смеси приведена в таблице 5. Учитывая химический состав золы уноса при сжигании угля марок А и Т энергетической группы, наиболее промышленно значимыми компонентами переработки являются: микросфера; магнетитовый концентрат; угольный концентрат (недожог).

Таблица 4 – Химический состав шлака и золы

Химические соединения	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	П.п.п.*	Примечание
Содержание, %	54,08	1,05	21,25	13,55	3,60	1,67	3,03	0,98	0,61	0,18	0,00	шлак [13]
Содержание, %	48,76	0,35	18,02	12,39	1,73	2,16	2,97	1,38	0,29	0,52	23,60	зола [13]
Содержание, %	51,42	0,7	19,6	12,97	2,67	1,92	3,0	1,18	0,45	0,35	23,6	ЗШО

\* – Потери при прокаливании

Таблица 5 – Сравнительная характеристика химического состав ЗШО

Химические соединения	Содержание химических соединений, %	
	золошлаковая смесь [8]	золошлаковая смесь шихты из марок А+Т
SiO <sub>2</sub>	51,42	38,85
TiO <sub>2</sub>	0,7	0,7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	19,6	18,86
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,97	23,51
CaO	2,67	4,5
MgO	1,92	2,4
K <sub>2</sub> O	3,0	2,3
Na <sub>2</sub> O	1,18	1,2
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,45	0,42
SO <sub>3</sub>	0,35	3,86
Потери при прокаливании	23,6	15,0

Золошлаковая пульпа по трубопроводам направляется на золоотвалы, занимающие значительные земельные площади.

На «Старобешевской» ТЭС находятся три золоотвала. Золоотвал № 1 в 1967 году выведен из эксплуатации и законсервирован. Золоотвал № 2 находился в эксплуатации с 1967 года. После заполнения до отметки плюс 142,00 м в 1997 году он также выведен из эксплуатации. В настоящее время выполняется его консервация. Золоотвал № 3 введен в эксплуатацию в 1997 году.

Отвалы являются источником загрязнения окружающей среды (рис. 1). Зола и шлак быстро поддаются выветриванию. После высыхания уже при скорости ветра выше 3 м/с начинают пылить. Вокруг них формируются ореолы загрязнения грунтов, почв, зоны аэрации и водонасыщенных пород (рис. 2).

Схема золошлакоудаления на «Старобешевской» ТЭС обеспечивает мокрое и частично сухое удаление золы уноса с дальнейшим гидротранспортом золошлаковой пульпы в отвалы. Извлечение микросферы и сопутствующих компонентов может производиться как из водного потока золы уноса, так и из сухой ее части.

В золоотвале, в результате гравитационного разделения водной суспензии, лёгкая фракция золы – полые зольные микросферы отделяются от золы уноса, шлака, несгоревшего угля и всплывают на поверхность золоотвала (рис. 3). Существенная часть золы представлена стекловидным веществом. По составу – это оксиды алюминия, калия, натрия. Полые внутри микросферы образуют пенные образования на поверхности золоотвала (рис. 3).

На ТЭС микросфера вызывает забивание труб оборотного водоснабжения.

Устойчивое развитие теплоэнергетического комплекса невозможно без решения проблемы утилизации золошлаковых отходов. ЗШО по фазово-минералогическому составу являются ценным сырьем для различных отраслей промышленности.

Рекомендуемая технологическая схема извлечения микросферы с поверхности золоотвалов (рис. 4) представлена следующими операциями: а) гидросепарация пульпы с извлечением микросферы во

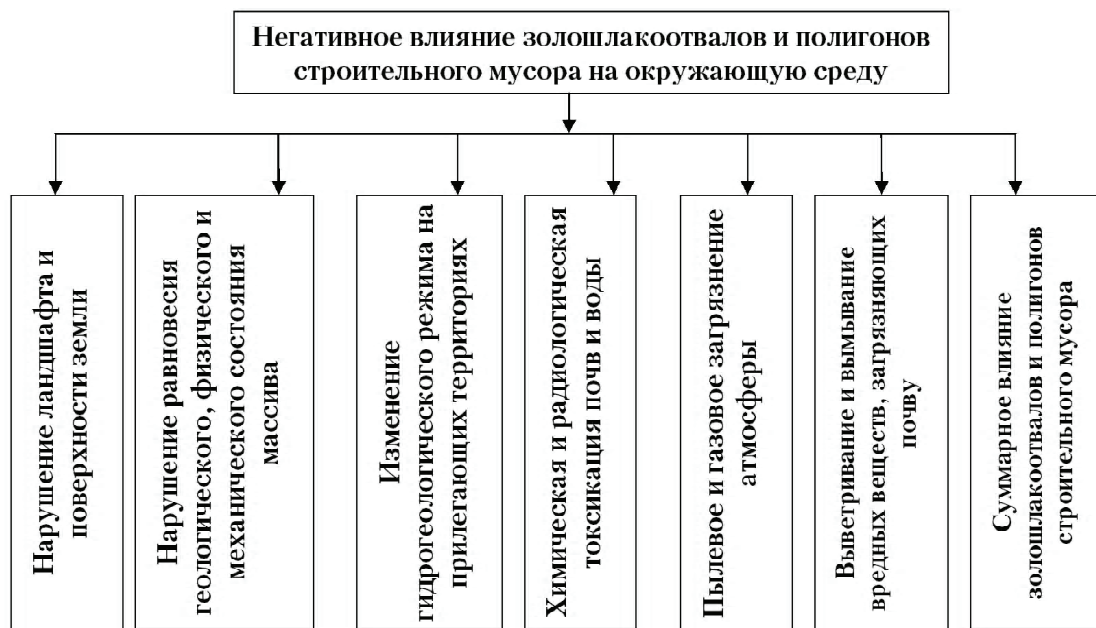


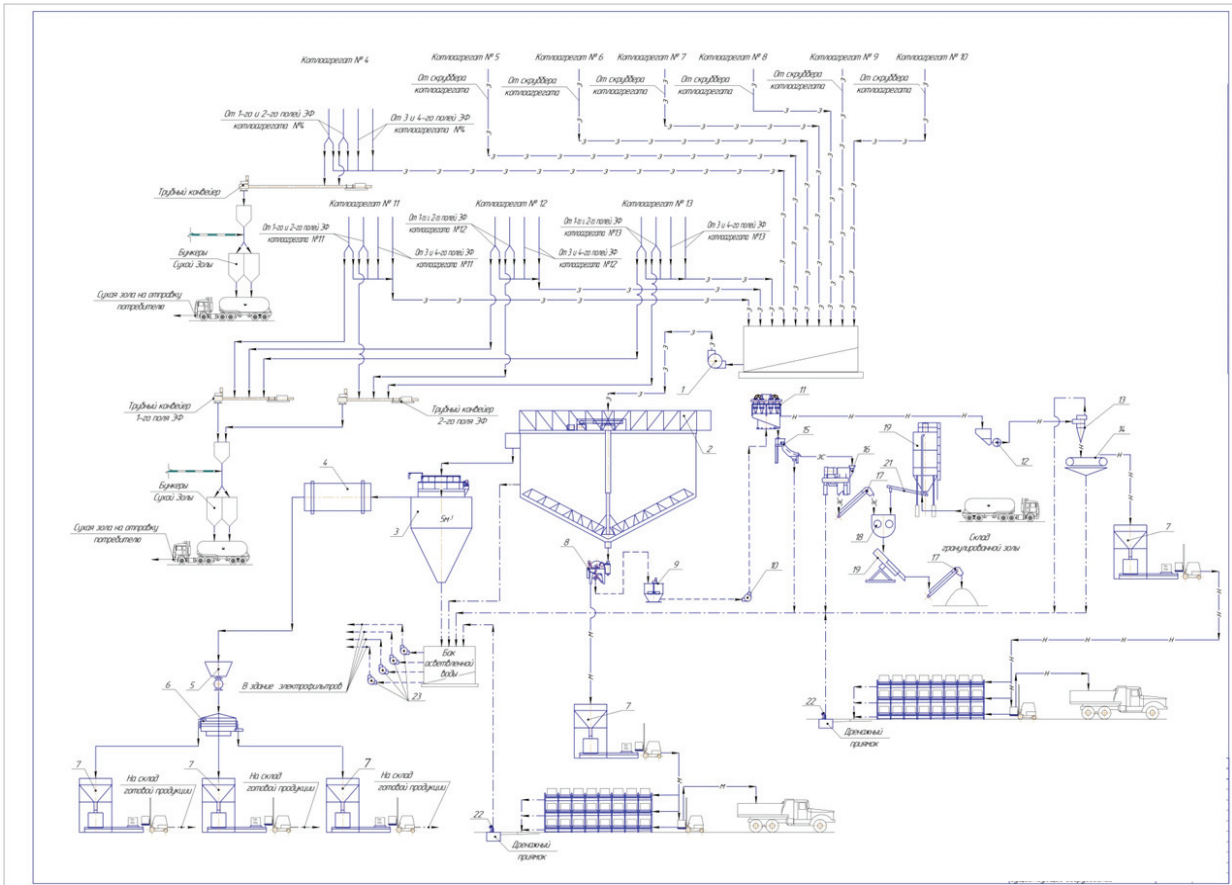
Рисунок 1 – Общая оценка влияния золошлакоотвалов и полигонов строительного мусора на окружающую среду.



Рисунок 2 – Схема распространения ореолов загрязнения по ИЗА.



Рисунок 3 – Золошлакоотвал № 2.



**Рисунок 4** – Схема комплексной переработки водной суспензии золы уноса для Старобешевской ТЭС: 1 – насос ГРАК 350/40/1-1,6; 2 – сгуститель-гидросепаратор; 3 – зумпф микросферы с пеноъемником; 4 – сушильный барабан d 2,5 м; 5 – бункер-питатель; 6 – вибросита СВ-1,2; 7 – фасовочная машина; 8 – сепаратор СБаМ-0,8/1,7; 9 – зумпф с мешалкой; 10 – насос ГраК 85/40/0-1,3; 11 – батарея гидроокислов ПМ-24016; 12 – насос ГраК 85/40/0-1,3; 13 – гидроциклон ГИМ-350; 14 – фильтр ленточный ЛОП 4,5; 15 – дуговое сито СмДуГд-3,0-А-0,3; 16 – центрифуга ЦфШнг-100-ВМ; 17 – конвейер ленточный; 18 – смеситель; 19 – гранулятор Т-300; 20 – склад цемента 32т; 21 – шнековый питатель; 22 – насос дренажный ПКВП 63/225; 23 – насос ГраК 700/40-11-12-1,6.

всплывший слой; б) извлечение микросферы с помощью насосов; в) пакетирование микросферы; г) обезвоживание микросферы; д) отгрузка микросферы потребителю.

Объем золошлаковых отходов приведен в таблице 6.

**Таблица 6** – Объем золошлаковых отходов Старобешевской ТЭС

Наименование продуктов	Выход максимальный, %	Производительность	
		т/ч	тыс. т
Золошлаковые отходы:	100,0	155	957,15
зола уноса	70,0	110	670,00
шлаковые отходы	30,0	45	287,10

Этапы, представленные на рисунке 5, обуславливаются элементами многокритериальной модели, а последовательность этапов и виды возможных итераций – взаимосвязями элементов. В рамках предложенной модели может быть рассмотрен вопрос использования ЗШО совместно со строительными отходами, исходя из класса опасности, экологических ущербов и экономической эффективности.

Еще до 2014 года строительный мусор оставлял основную часть отходов на мусорных полигонах региона. Значительные разрушения городской инфраструктуры за годы военных действий, а также

дефицит свободных земель под захоронение строительных отходов выдвигают необходимость изыскивать способы утилизации данной группы отходов.

Учитывая отсутствие в настоящее время в Донбассе соответствующего технологического оборудования, необходимого опыта и нормативной базы для сферы отходов, на данном этапе все строительные отходы предлагается складировать на специальном полигоне. После решения всех организационных вопросов твердокаменные строительные отходы должны перерабатываться с вовлечением в строительный оборот в виде вторичного заполнителя для бетонных изделий или как подстилающее щебеночное основание для дорог. Полигон строительных отходов и производство по их переработке необходимо размещать в промышленной зоне. Стационарное производство включает в себя первичное оборудование: приемные бункеры, транспортеры, пункты предварительной сортировки отходов, дробилки, магнитный сепаратор, грохот и оборудование вторичного дробления для получения необходимых фракций щебня и песка. Около 76 % отходов можно использовать повторно. Например, тяжелый и легкий железобетон (примерное соотношение 4:1) после специальной переработки (дробления, сортировки, фракционирования) можно применять в дорожном строительстве, монолитном домостроении и при изготовлении неответственных железобетонных конструкций.

Схема построения модели использования ЗШО представлена на рисунке 5.

Повторное использование отходов после демонтажа железобетонных конструкций позволяет не только уменьшить стоимость основных материалов, но и улучшить экологическую ситуацию.

Многие строительные компании, занимающиеся сносом зданий, перерабатывают бой бетона и кирпича. За рубежом с 50-х годов прошлого века создана мощная сеть предприятий по переработке строительных отходов, что позволило к настоящему времени переработать около 100 млрд м<sup>3</sup> [14].

В Российской Федерации проблемой переработки строительных отходов занимается строительный комплекс г. Москвы [14]. Накопленный им опыт свидетельствует, что использование отходов вторичных ресурсов дает высокий экономический эффект.

Совместное использование строительных отходов и ЗШО представляет сочетание коммерческих и технических показателей – наличием ресурсов, невысокой стоимости, высокой прочности и химической стойкости. Сырье из отходов в 2–3 раза дешевле, чем специально изготавливаемое сырье и может быть рекомендовано для строительных изделий при восстановлении Донбасса.

## ВЫВОДЫ

Извлечение полезных компонентов из ЗОШ, с последующей их утилизацией совместно со строительными отходами полностью позволит высвободить занимаемые площади и снизить негативное воздействие на окружающую среду, а также уменьшить технологические расходы на основное производство энергетическими предприятиями.

## СПИСОК ЛИТЕРАУРЫ

1. Утилизация золы уноса: комплексный решения, проблемы отходов угольной энергетики по индийским рецептам. – Текст : электронный // Строительная газета : [сайт]. – 10.02.2023. – URL: <https://stroygaz.ru/publication/materials/utilizatsiya-zoly-unosa-kompleksnye-resheniya-problemy-otkhodov-ugolnoy-energetiki-po-indiyskim-rets/> (дата обращения: 14.09.2023).
2. Проблемы и перспективы утилизации золошлаковых отходов ТЭЦ. Часть 1 / Г. С. Подгородецкий, В. Б. Горбунов, Е. А. Агапон [и др.]. – Текст : непосредственный // Черная металлургия (известия вузов). – 2018. – Том 61, № 6. – С. 439–446.
3. Таскин, А. В. Химико-технологические решения комплексной переработки золошлаковых отходов промышленности : специальность 03.02.08 «Экология (химия) (химические науки)» : диссертация на соискание ученой степени кандидата химических наук / Таскин Андрей Васильев ; Дальневосточный федеральный университет. – Владивосток, 2018. – 208 с. – Текст : непосредственный.
4. Золошлаковые отходы. Экономическая выгода переработки. – Текст : электронный // ZOLA NEW TECHNOLOGY UG : [сайт]. – 19 мая 2021. – URL: <https://zola-nt.de/ru/zoloshlakovyeh-othodov-ekonomicheskaya-vygoda-pererabotki/> (дата обращения: 14.09.2023).
5. Завод по переработке золошлаковых отходов СУЭК и Opera Minerals увеличил годовую производительность на 40 %. – Текст : электронный // Сетевое издание «Интерфакс-Россия» : [сайт]. – Сибирь. – 23 марта 2012. – URL: <https://www.interfax-russia.ru/siberia/news/zavod-po-pererabotke-zoloshlakovyeh-othodov-suek-i-omega-minerals-uvlichil-godovuyu-proizvoditelnost-na-40> (дата обращения: 14.09.2023).
6. Возможности ST комплекс технологий на летучей золе. – Текст : электронный // ST EQUIPMENT & TECHNOLOGY : [сайт]. – 2023. – URL: <https://steqtech.com/possibilities-of-st-complex-technologies-on-fly-ash/?lang=ru> (дата обращения: 14.09.2023).

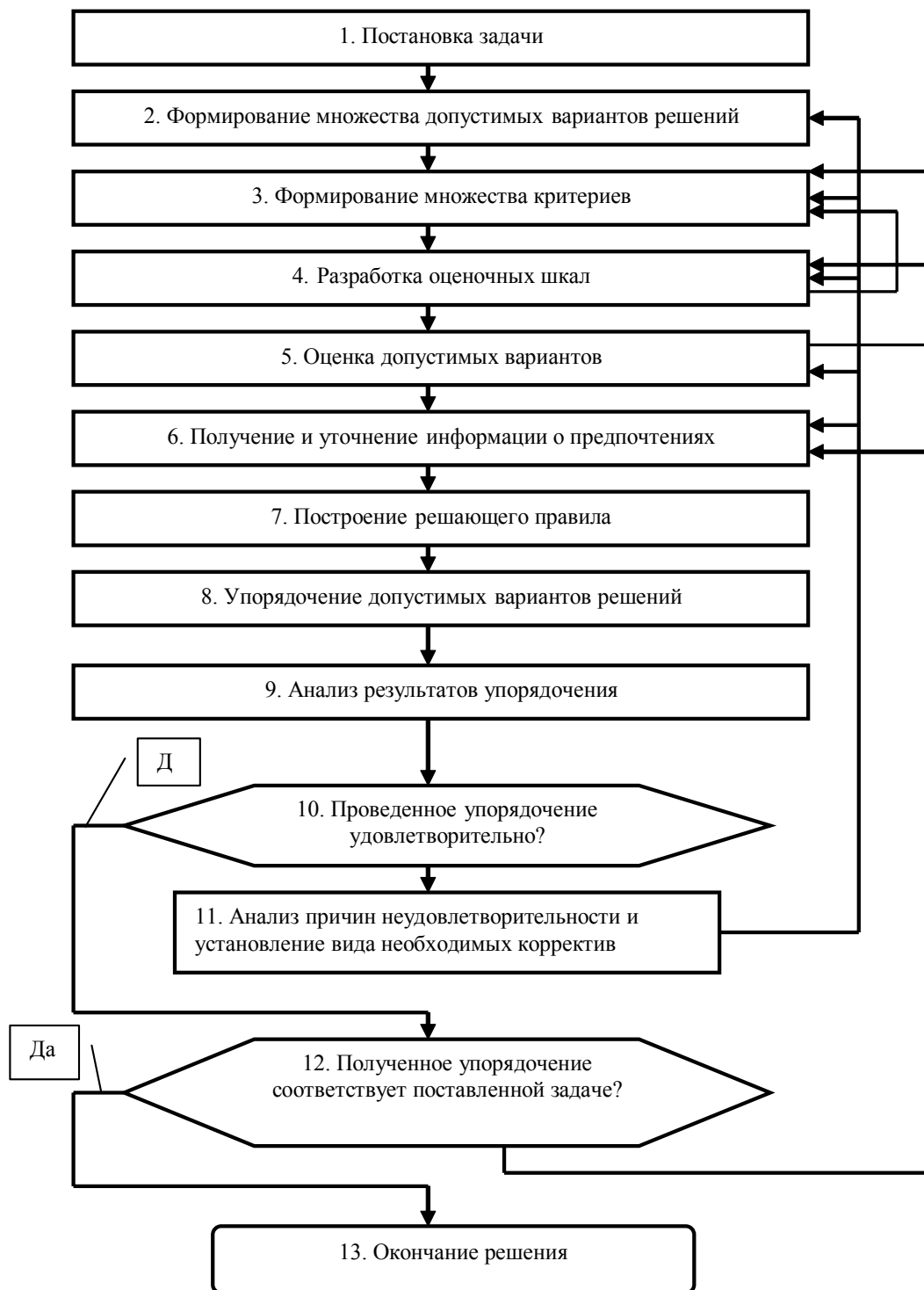


Рисунок 5 – Схема построения модели многокритериальной задачи.

7. Умбетова, Ш. М. Техногенные отходы предприятий энергетики и пути их вторичной переработки / Ш. М. Умбетова. – Текст : непосредственный // Вестник КазНТУ. – 2019 – № 2. – С. 2–8.
8. Компоненты зол и шлаков ТЭС / Л. Я. Кизильштейн, И. В. Дубов, А. Л. Шпицглюз, С. Г. Парада. – Москва : Энергоатомиздат, 1995. – 176 с. – Текст : непосредственный.
9. Тас-оол, Л. Х. Алюмосиликатные микросферы зольных уносов теплоэлектростанции г. Кызыла / Л. Х. Тас-оол, Н. Н. Янчат, Ж. Э. Чоксум. – Текст : непосредственный // Кызыл: Вестник Тувинского государственного университета. – 2012. – № 3. – С. 33–37.

10. Основные технологии переработки промышленных и твердых коммунальных отходов / Л. Б. Хорошавин, В. А. Беляков, Е. А. Свалов ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. – Екатеринбург : Изд-во Урал. у-та, 2016. – 220 с. – Текст : непосредственный.
11. Салихов, В. А. Перспективы извлечения ценных цветных и редких металлов из золо-шлаковых отходов энергетических предприятий Кемеровской области / В. А. Салихов. – Текст : электронный // Вестник Томского государственного университета. – 2009. – С. 163-168. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-izvlecheniya-tsennykh-tsvetnykh-i-redkiy-metallov-iz-zolo-shlakovykh-otvalov-energeticheskikh-predpriyatiy-keмеровskoy-oblasti/viewer> (дата обращения: 14.09.2023).
12. Зубков, А. А. Переработка золошлаковых отходов / А. А. Зубков. – Текст : непосредственный. – Москва : Русатом. Инфраструктурные решения. – 2020. – С. 1–10.
13. Целыковский, Ю. К. Опыт промышленного использования золошлаковых отходов ТЭС / Ю. К. Целыковский. – Текст: непосредственный // Новое в российской энергетике. – 2000. – № 2. – С. 22–31.
14. Олейник, С. П. Единая система переработки строительных отходов / С. П. Олейник. – Москва : СвР-Аргус, 2006. – 300 с. – Текст : непосредственный.

Получена 13.10.2023

Принята 27.10.2023

С. Є. ГУЛЬКО <sup>a</sup>, Н. Г. НАСОНКІНА <sup>b</sup>, Д. Г. СОКОЛОВ <sup>b</sup>, С. Є. АНТОНЕНКО <sup>b</sup>,  
В. С. ЗАБУРДАЄВ <sup>b</sup>

#### АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДІВ ТЕС ДНР В БУДІВНИЦТВІ

<sup>a</sup> Донгіпрошахт, Донецька Народна Республіка, м. Донецьк; <sup>b</sup> ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», Російська Федерація, Донецька Народна Республіка, м. о. Макіївський, м. Макіївка

**Анотація.** Представлений аналіз світового досвіду утилізації золошлакових та будівельних відходів. На прикладі Старобешівської ТЕС вивчено умови формування золошлакових відходів, їх мінеральний склад, якісно-кількісні показники та їх вплив на довкілля. Показано, що золовідвали займають великі території, а їх утримання вимагає значних експлуатаційних витрат. Розроблено технологічну схему вилучення мікросфери та супутніх компонентів із золи винесення з урахуванням забезпечення замкнутої системи оборотного водопостачання. Обґрунтовано концепцію та запропоновано багатокритеріальну модель спільної переробки золошлакових та будівельних відходів. Виконано оцінку переробки мікросфери та будівельних відходів у вторинні ресурси, з подальшим їх застосуванням для будівельних матеріалів та дорожнього покриття. Відзначається, що спільне використання будівельних відходів і ЗШВ представляє поєднання комерційних і технічних показників – наявністю ресурсів, невисокої вартості, високої міцності і хімічної стійкості.

**Ключові слова:** мікросфера, зола, відходи, відвали, шлак, золошлакова суміш.

SERGEY GULKO <sup>a</sup>, NADIYA NASONKINA <sup>b</sup>, DMITRY SOKOLOV <sup>b</sup>,  
SVETLANA ANTONENKO <sup>b</sup>, VIACHESLAV ZABURDAEV <sup>b</sup>

#### ANALYSIS OF THE POSSIBILITY OF USING ASH AND SLAG WASTE FROM DPR THERMAL POWER PLANTS IN CONSTRUCTION

<sup>a</sup> Dongiproschacht, Russian Federation, Donetsk; <sup>b</sup> FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian Federation, Makeevka

**Abstract.** The analysis of the world experience in the disposal of ash and slag and construction waste is presented. Using the example of the Starobeshivskaya thermal power plant, the conditions for the formation of ash and slag waste, their mineral composition, qualitative and quantitative indicators and their impact on the environment are studied. It is shown that ash dumps occupy large territories, and their maintenance requires significant operating costs. A technological scheme for the extraction of microspheres and related components from fly ash has been developed, taking into account the provision of a closed circulating water supply system. The concept is substantiated and a multi-criteria model of joint processing of ash and slag and construction waste is proposed. The evaluation of the processing of microspheres and construction waste into secondary resources, with their subsequent use for building materials and pavement, was carried out. It is noted that the joint use of construction waste and waste management represents a combination of commercial and technical indicators – availability of resources, low cost, high strength and chemical resistance.

**Keywords:** microsphere, ash, waste, dumps, slag, ash-slag mixture.



**Гулько Сергей Евгеньевич** – доктор технических наук, и. о. директора Донгипрошахт. Научные интересы: техносферная безопасность; технология и комплексная механизация подземных разработок месторождений полезных ископаемых; техносферная безопасность при ликвидации шахт в Донецке.

**Насонкина Надежда Геннадиевна** – доктор технических наук, профессор кафедры городского строительства и хозяйства ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: системы водоснабжения и водоотведения, экологическая безопасность систем водоснабжения, микросфера (отходы ТЭС), строительные отходы и применение их в строительстве.

**Соколов Дмитрий Геннадьевич** – студент ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: микросфера (отходы ТЭС), строительные отходы и применение их в строительстве.

**Антоненко Светлана Евгеньевна** – кандидат технических наук, доцент кафедры городского строительства и хозяйства ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: электрохимическое умягчение воды, новые материалы и оборудование при проектировании систем отопления, экологическая безопасность инженерных сетей, энергоэффективность зданий.

**Забурдаев Вячеслав Семенович** – заведующий лабораторией кафедры городского строительства и хозяйства ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: системы водоснабжения и водоотведения, экологическая безопасность систем водоснабжения.

**Гулько Сергій Євгенович** – доктор технічних наук, в. о. директора Донгіпрошахт. Наукові інтереси: техносферна безпека; технологія і комплексна механізація підземних розробок родовищ корисних копалин; техносферна безпека при ліквідації шахт в Донецьку.

**Насонкіна Надія Геннадіївна** – доктор технічних наук, професор кафедри міського будівництва і господарства ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: системи водопостачання і водовідведення, екологічна безпека систем водопостачання, микросфера (відходи ТЕС), будівельні відходи та застосування їх у будівництві.

**Соколов Дмитро Геннадійович** – студент ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: микросфера (відходи ТЕС), будівельні відходи та застосування їх у будівництві

**Антоненко Світлана Євгенівна** – кандидат технічних наук, доцент кафедри міського будівництва та господарства ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: електрохімічне зм'якшення води, нові матеріали і устаткування при проектуванні систем опалення, екологічна безпека інженерних мереж, енергоефективність будівель.

**Забурдаєв Вячеслав Семенович** – завідувач лабораторією кафедри міського будівництва та господарства ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: системи водопостачання і водовідведення, екологічна безпека систем водопостачання.

**Gulko Sergey** – D. Sc. (Eng), Acting Director of Dongiproshakht. Scientific interests: technosphere safety; technology and complex mechanization of underground mining of mineral deposits; technosphere safety in the liquidation of mines in Donetsk.

**Nasonkina Nadiya** – D. Sc. (Eng), Professor, Municipal Building and Economy Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: water and wastewater treatment, ecological safety of the water systems.

**Sokolov Dmitry** – student, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: microsphere (TPP waste), construction waste and their application in construction

**Antonenko Svetlana** – Ph. D. (Eng), Associate Professor, Municipal Building and Economy Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: electrochemical softening the waters, new materials and the equipment at designing of systems of heating, environmental safety of engineering networks, energy efficiency of buildings.

**Zaburdaiev Viacheslav** – Head of Laboratory, Municipal Building and Economy Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: water and wastewater treatment, ecological safety of the water systems.

EDN: PPOHWL

УДК 504.064.3

**А. А. ШЕЙХ, Н. Е. ЛИСНЯК**ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевский, г. Макеевка

## **АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩЕЙ СИТУАЦИИ В СФЕРЕ ОБРАЩЕНИЯ С ТКО НА ТЕРРИТОРИИ ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**Аннотация.** В работе рассмотрена проблема обращения с твёрдыми бытовыми отходами и анализ возможности внедрения технологии переработки твёрдых бытовых отходов с предварительным изъятием утильных компонентов, которая способна существенно снизить потенциальную антропогенную нагрузку на окружающую среду. Показана сложившаяся ситуация в сфере обращения с отходами на территории г. Донецка и указано что в 2020 г. образовалось 834 797 т отходов IV класса опасности, почти все они складированы на полигонах. Приведены данные по морфологическому составу ТКО, которые проявляют чётко выраженную тенденцию к сезонным изменениям. Дана характеристика существующих трех полигонов. Рассмотрен вопрос сортировки и переработки твёрдых коммунальных отходов, который актуален для Донецкой Народной Республики и может быть внедрен как на действующих полигонах твердых коммунальных отходов, так и на планируемых к строительству.

**Ключевые слова:** твердые коммунальные отходы, морфологический состав, сортировка, переработка, полигоны.

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Восстановление Донбасса открывает широкие возможности к внедрению инновационных природоохранных технологий. Одной из сфер приложения таких технологий является решение проблемы утилизации твёрдых коммунальных отходов. За 10 прошедших лет было накоплено около 3,8 млрд м<sup>3</sup> твёрдых коммунальных отходов, складированных на 26 полигонах (фактически являющихся свалками), многие из которых заполнены на 60...90 %, а некоторые – переполнены и давно должны быть закрыты. Твёрдые коммунальные отходы (ТКО) – отходы, которые образуются в результате жизнедеятельности человека и накапливаются в жилых домах, общественных, учебных, лечебных и других учреждениях, которые частично или полностью утратили свои потребительские свойства и подлежат утилизации, переработке, использованию или удалению.

Во всем мире разрабатывают различные технологии обезвреживания и переработки ТБО, которые направлены на получение новых материалов и извлечение из отходов ценных утильных фракций. Наиболее распространенные в мировой практике методы полигонного депонирования и переработки ТКО, сжигание и анаэробное компостирование, а также сочетание этих двух методов.

Единственным способом обращения с отходами в городе Донецке до настоящего времени является их складирование на полигонах. Большая плотность населения Донецкого региона приводит к образованию больших объемов ТКО. В виду отсутствия на территории города мусороперерабатывающих и мусоросжигательных заводов все ТКО вывозятся на свалки и полигоны. Таким образом, в настоящее время на территории Донбасса актуальной является проблема внедрения эффективных не требующих больших материальных затрат технологий, которые позволят внедрить систему переработки твёрдых бытовых отходов.

**Цель:** проанализировать существующую ситуацию в сфере обращения с отходами на территории Донецкой Народной Республики для дальнейшего внедрения на полигонах технологии комплексной переработки твёрдых коммунальных отходов.

© А. А. Шейх, Н. Е. Лисняк, 2023



## ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Донецкая Народная Республика – это индустриально-промышленный район с высоким уровнем антропогенной нагрузки характеризующихся значительным уровнем потенциальных рисков, связанных с загрязнением окружающей среды. Одним из факторов негативных проявлений в техносфере является процесс образования и размещения большого количества ТКО. На сегодняшний день на территории Донецкой Народной Республики находятся огромные накопления ТБО, поскольку на территории нашего региона отсутствуют полноценные эффективные методы утилизации и переработки ТКО и их раздельный сбор.

В 2015 году постановлением Народного Совета ДНР был принят основной закон в сфере ТКО – Закон «Об отходах производства и потребления» [1], поскольку сфера обращения с отходами представляет одну из главных угроз экологической безопасности. В настоящем Законе определяются правовые основы обращения с отходами производства и потребления в целях предотвращения вредного воздействия данного вида отходов на здоровье человека и на окружающую среду, вовлечения их в хозяйственный оборот в качестве вторичных материальных ресурсов.

В 2018 году Государственный комитет по экологической политике и природным ресурсам при Главе ДНР разработал концепцию по усовершенствованию обращения с отходами, предусматривающую строительство на территории республики мусоросортировочных и мусороперерабатывающих заводов. В этот же год были утверждены правила эксплуатации и содержания полигонов, т. е. объектов обращения с бытовыми отходами. На рисунке приведены статистические данные Главного управления статистики Донецкой Народной Республики в сфере обращения с отходами на территории Республики за 2020 г.

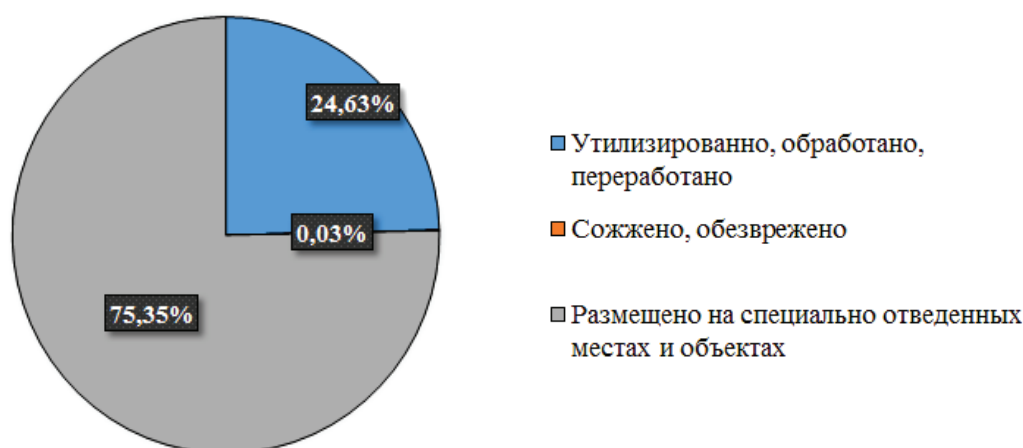


Рисунок – Обращение с отходами в ДНР в 2020 году.

Анализ рисунка показал, что большая часть твердых коммунальных отходов была размещена на специально отведенных местах и объектах (75,35 %), около четверти отходов (24,63 %) было утилизировано, обработано или переработано, а лишь незначительная часть отходов (0,03 %) была сожжена или обезврежена. Доля отходов IV класса опасности составляют – 99,95 % от годового объема отходов всех классов опасности. Всего за 2020 год на территории Донецкой Народной Республики образовалось 834 797 т отходов IV класса опасности, большую часть из которых представляют ТКО.

На сегодняшний день единственным способом утилизации отходов в городе Донецке является их вывоз и складирование на специально отведенных полигонах [2]. Поскольку города ДНР имеют большую плотность населения, то с каждым годом объемы образования ТКО увеличиваются. Полигоны, на которые вывозятся ТКО, не соответствуют санитарно-гигиеническим требованиям, они не обустроены защитными экранами, предотвращающие загрязнение водных ресурсов и слоев почвы. Поэтому в настоящее время остро стоит вопрос, связанный с наличием нескольких сотен полигонов (свалок) ТКО, расположенных на территории Республики и органам власти необходимо срочно решать возникшие проблемы.

Как показывает мировой опыт передовых промышленных стран [3–6] обоснование внедрения той или иной технологии переработки ТКО и их компонентов в обязательном порядке требует проведения

исследований их состава, от которого зависят основные технико-экономические показатели – морфологического состава бытовых отходов.

В таблице 1 указаны массовые доли утильных компонентов по составу твёрдых коммунальных отходов в Донецкой Народной Республике, которые представляют интерес в качестве товара [2].

**Таблица 1** – Содержание утильных фракций в ТКО города Донецка

Вид отходов	% масс.
Бумага	4,2
Металл	2,5
Полимерная упаковка	9,1
Многослойная упаковка	0,4
Стекло	7,4

Морфологический состав ТКО проявляет чётко выраженную тенденцию к сезонным изменениям. Так, для летнего периода характерно повышенное содержание пищевых отходов растительного происхождения, а для зимнего – рост содержания отсева и шлака. Существенно влияет на состав ТКО организация сбора в городе утильной бумаги, пищевых отходов, стеклотары.

Опыт показывает, что с течением времени состав ТКО несколько изменяется. Увеличивается содержание бумаги и полимерных материалов [7].

Единственным способом обращения с ТКО в городе Донецке является их складирование на полигонах. От города Донецка прием ТКО осуществляет 3 полигона: «Ларинский», расположенный в Буденновском районе г. Донецка, полигон, расположенный в селе Яковлевка Ясиноватского района и «Петровский» полигон, который находится в Петровском районе города Донецка.

«Ларинский» полигон расположен в отработанных известковых карьерах, в 800 м от поселка городского типа Ларино. Паспортизация объекта как места удаления отходов проведена. На нем складировались ТБО Ворошиловского, Куйбышевского, Буденновского, Ленинского и Калининского районов. На данном полигоне регулярно происходит самовозгорание мусора, и весь дым идет в сторону поселка, т. к. при размещении полигона не была учтена роза ветров.

Полигон рядом с Ясиноватой работает больше десятка лет. Ежедневно на полигон привозят отходы из Донецка, Макеевки и Ясиноватой. Полигон в соответствии с санитарной классификацией предприятий, производств и объектов относится к II классу, на полигоне выдержан размер санитарно-защитной зоны – 500 м. Паспортизация данного полигона проведена.

Основные характеристики полигонов города Донецка приведены в таблице 2.

**Таблица 2** – Данные об объемах отходов, накопленных на полигонах ТКО г. Донецка

Место расположения полигона ТБО	Год ввода	Мощность полигона, м <sup>3</sup>		% заполнения	Наличие правоустанавливающих документов на землю	Наличие паспорта места удаления отходов
		Проект	Факт			
Донецк (п. Ларино)	1991	1 175 110	1 071 546	110	Гос. акт на право постоянного пользования	Есть
Ясиноватский район	2005	325 620	113 967	35	Гос. акт на право постоянного пользования	Есть
Донецк (Петровский район)	1972	4 330 319	2 831 323	65	Гос. акт на право постоянного пользования	Нет

«Петровский» полигон – расположен в пределах городской черты. Эксплуатируемая часть полигона расположена в южной части Петровского района между двумя жилыми массивами. Расположение полигона не обеспечивает 500-метровую санитарную зону от жилой застройки, его эксплуатация является очагом распространения инфекций, грызунов, зловония, заражения водоносных

горизонтов вредными фильтрами и других отрицательных факторов. Паспортизация объекта, как места удаления отходов, не проведена.

Полигоны достигают своих проектных мощностей, так как многие из них начали эксплуатироваться еще при Советском Союзе, а также из-за быстрого заполнения, связанного с отсутствием технологий по извлечению и сортировке отходов, уменьшению объема размещенных на полигонах отходов. Информация, указанная в документах, не всегда соответствует действительности, т. к. на большинстве полигонов отсутствует весовое оборудование, а учет отходов ведется по так называемым «машиноходкам», что в итоге приводит к получению недостоверных сведений о наполненности полигона.

Одна же из основных причин резкого сокращения свободных мощностей на полигонах Республики – устаревшая система сбора и вывоза ТКО, при которой отходы поступают на полигон в смешанном виде без предварительной сортировки. Здесь оседает огромное количество «полезных» материалов, которые могли быть переработаны и использованы повторно в хозяйственной деятельности.

Для мест размещения ТКО и, в частности, полигонов характерно нарушение норм природоохранного законодательства [8, 9]:

- размещение не лимитированных масс ТКО;
- отсутствие предохраняющих ограждений;
- наличие не зарегистрированных пунктов приема вторичного сырья;
- отсутствие систем мониторинга об образовании фильтра.

## ВЫВОДЫ

В работе рассмотрена проблема обращения с твердыми бытовыми отходами и анализ возможности внедрения технологии переработки твердых коммунальных отходов с предварительным изъятием утильных компонентов, которая способна существенно снизить потенциальную антропогенную нагрузку на окружающую среду. Показана сложившаяся ситуация в сфере обращения с отходами на территории г. Донецка и указано что в на 31 декабря 2020 г. образовалось 834 797 т отходов IV класса опасности, почти все они складированы на полигонах. Можно сделать вывод, что вопрос сортировки и переработки твердых коммунальных отходов актуален для ДНР и может быть внедрен как на действующих полигонах ТКО, так и на планируемых к строительству.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Донецкая Народная Республика. Законы. Об отходах производства и потребления : закон № 82-ИНС от 09.10.2015. – Донецк : [б. и.], 2015. – 41 с. – Текст : непосредственный.
2. Информация об обращении с отходами в г. Донецке. – Текст : электронный // gorod-donetsk.com : [сайт]. – 17.12.2021. – URL: <https://gorod-donetsk.com/novosti/20810-informatsiya-ob-obrashchenii-s-otkhodami-v-g-donetske-2> (дата обращения: 30.09.2023).
3. Eurostat Municipal waste treatment, by type of treatment. – Текст : электронный // ec.europa.eu : [сайт]. – URL: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Municipal\\_waste\\_statistics](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Municipal_waste_statistics) (дата обращения: 30.09.2023).
4. Chandrappa, R. Solid Waste management, Environmental Science and Engineering / R. Chandrappa, D. V. Das. – London : Springer Heidelberg, 2015. – 414 p. – DOI: 10.1007/978-3-642-28681-0. – Текст : непосредственный.
5. Nicolas, B. Municipal Waste Management in Europe: A Comparative Study in Building Regimes / B. Nicolas, G. Oliver. – Paris : Seiten, 2010. – 232 p. – DOI: 10.1007/978-90-481-5292-6. – Текст : непосредственный.
6. Branchini, L. Waste-to-Energy Advanced Cycles and New Design Concepts for Efficient Power Plants / L. Branchini. – Bologna : Springer International Publishing, 2015 – 143 p. – DOI: 10.1007/978-3-319-13608-0. – Текст : непосредственный.
7. Бородай, Г. И. Пособие по мониторингу полигонов твердых бытовых отходов / Г. И. Бородай. – Донецк : Тасис, 2004. – 293 с. – Текст : непосредственный.
8. Твердые бытовые отходы / В. Г. Систер, А. Н. Мирный, Л. С. Скворцов [и др.]. – Москва : издательство Академии коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова, 2001. – 319 с. – Текст : непосредственный.
9. Гонопольский, А. М. Исследование физико-механических характеристик ТБО при их компактировании безобязочным методом в крупногабаритные блоки / А. М. Гонопольский. – Текст : непосредственный // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2012. – № 2. – С. 34–36. – ISSN 0023-1126.

Получена 11.10.2023

Принята 27.10.2023

О. О. ШЕЙХ, Н. Є. ЛІСНЯК

АНАЛІЗ ІСНУЮЧОЇ СИТУАЦІЇ У СФЕРІ ПОВОДЖЕННЯ З ТКО НА  
ТЕРИТОРІЇ ДОНЕЦЬКОЇ НАРОДНОЇ РЕСПУБЛІКИ

ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», Російська  
Федерація, Донецька Народна Республіка, м. о. Макіївський, м. Макіївка

**Анотація.** У роботі розглянуто проблему поводження з твердими побутовими відходами та аналіз можливості впровадження технології переробки твердих побутових відходів з попереднім вилученням утильних компонентів, яка здатна суттєво знизити потенційне антропогенне навантаження на навколишнє середовище. Показана ситуація, що склалася в сфері поводження з відходами на території м. Донецька і зазначено що в 2020 р. утворилося 834 797 т відходів IV класу небезпеки, майже всі вони складовані на полігонах. Наведено дані щодо морфологічного складу ТКО, які виявляють чітко виражену тенденцію до сезонних змін. Дана характеристика існуючих трьох полігонів. Розглянуто питання сортування і переробки твердих комунальних відходів, який актуальний для Донецької Народної Республіки і може бути впроваджений як на діючих полігонах твердих комунальних відходів, так і на планованих до будівництва.

**Ключові слова:** тверді комунальні відходи, морфологічний склад, сортування, переробка, полігони.

ALEXANDRA SHEIKH, NATALIA LISNYAK

ANALYSIS OF THE EXISTING SITUATION IN THE FIELD OF MSW  
MANAGEMENT IN THE TERRITORY OF THE DONETSK PEOPLE'S REPUBLIC  
FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian  
Federation, Makeevka

**Abstract.** The paper considers the problem of handling solid household waste and analyzes the possibility of introducing a technology for processing solid household waste with the preliminary removal of waste components, which can significantly reduce the potential anthropogenic impact on the environment. The current situation in the field of waste management on the territory of Donetsk is shown and it is indicated that in 2020 834,797 tons of waste of hazard class IV were formed, almost all of them are stored at landfills. The data on the morphological composition of MSW, which show a pronounced tendency to seasonal changes, are presented. The characteristic of the existing three polygons is given. The issue of sorting and processing of municipal solid waste, which is relevant for the Donetsk People's Republic and can be implemented both at existing landfills of municipal solid waste and at planned construction sites, is considered.

**Keywords:** municipal solid waste, morphological composition, sorting, recycling, landfills.

**Шейх Александра Александровна** – ассистент кафедры техносферной безопасности ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: внедрение на полигонах технологии комплексной переработки твердых коммунальных отходов.

**Лисняк Наталья Евгеньевна** – магистрант 1 курса ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: внедрение на полигонах технологии комплексной переработки твердых коммунальных отходов.

**Шейх Олександра Олександрівна** – асистент кафедри техносферної безпеки ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: впровадження на полігонах технології комплексної переробки твердих комунальних відходів.

**Лісняк Наталія Євгенівна** – магістрант 1 курсу ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: впровадження на полігонах технології комплексної переробки твердих комунальних відходів.

**Sheikh Alexandra** – Assistant, Technosphere Safety Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: introduction of the technology of complex processing of municipal solid waste at landfills.

**Lisnyak Natalia** – a 1st year master's student FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: introduction of the technology of complex processing of municipal solid waste at landfills.

EDN: QEFPGS

УДК 628.31

**Е. Л. ГОЛОВАТЕНКО**ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»,  
Российская Федерация, Донецкая Народная Республика, г. о. Макеевский, г. Макеевка

## **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ НА ТЕРРИТОРИИ ДОНЕЦКОГО РЕГИОНА**

**Аннотация.** В условиях высокоразвитой промышленности и большого количества населения в Донбассе ежедневно используют большое количество воды. Водные ресурсы региона активно используются водохозяйственным комплексом, который отличается высокой плотностью населения и высоким уровнем развития промышленности, представленной водоемкими и экологически опасными производствами, что на фоне низкой водообеспеченности местным стоком, требует принятия взвешенных управленческих решений по созданию условий для постоянного водоснабжения промышленных предприятий. Использование значительных объемов водных ресурсов на производственные потребности, загрязнение поверхностных и подземных источников промышленными и сельскохозяйственными стоками и отходами производств наносят большой вред водным объектам, приводят к истощению водных источников и потери способности к самоочистке. Сброс большого количества неочищенных сточных вод, а также многолетняя аккумуляция загрязняющих веществ в донных отложениях привели к тому, что большинство водных объектов области относится к категории грязных и очень грязных.

**Ключевые слова:** водные ресурсы, водоотведение, загрязняющие вещества, методы очистки.

### **ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ**

ДНР – особенный регион, отличающийся дефицитом водных ресурсов. Сформировавшиеся в области отрасли промышленности характеризуются значительным водопотреблением. Водные ресурсы области формируются за счет транзитного притока поверхностных вод по р. Северский Донец, местного речного стока, формирующегося в пределах области, сточных, шахтных и карьерных вод, а также эксплуатационных запасов подземных вод, мощность которых в Донецкой области утверждена и зарегистрирована более 1,0 млн куб. м/сутки. Загрязнение природной воды создает угрозу для жизни и здоровья населения, а так же существования биосферы в целом. Поэтому оценка состояния водных экосистем под действием антропогенных факторов является одной из наиболее актуальных задач для охраны поверхностных водных ресурсов.

### **ЦЕЛЬ**

Проанализировать состояние водных экосистем под действием антропогенных факторов для охраны поверхностных водных ресурсов.

### **ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ**

Водные ресурсы области формируются за счет транзитного притока поверхностных вод по р. Северский Донец, местного речного стока, формирующегося в пределах области, сточных, шахтных и карьерных вод, а также эксплуатационных запасов подземных вод, мощность которых в Донецкой области утверждена и зарегистрирована более 1,0 млн куб. м/сутки. Естественный сток рек, который формируется в пределах области, регулируется 130 водохранилищами и 2 206 ставкам. Крупнейшие водохранилища – Кураховское, Углегорское, Старобешевское, Клебан-Быкское, Карловское,



Павлопольское, Старокрымское и Краснооскольское. Кроме регуляции речного стока водохранилищами и прудами, природный дефицит воды покрывается за счет канала Северский Донец-Донбасс, который на 80 % обеспечивает область водой для питьевого водоснабжения. Показатели использования и водоотведения воды за 2012–2022 гг. приведены в таблице 1.

**Таблица 1** – Показатели использования и водоотведения воды, млн м<sup>3</sup>

Показатели	2012 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Забрано воды из природных водных объектов – всего	2 446	2 277	2 364	2 164	1 958	2 007	2 142
в том числе для использования							
Потреблено свежей воды (включая морскую) с нее на:	1 751	1 562,3	1 633,3	1 270	1 345,9	1 467	1 479
производственные потребности	406,8	339	342	366,6	274,9	280,4	289
бытовые-питьевые потребности	460,7	295,5	272	261,3	234,2	230,7	229,4
орошение	53,6	22,8	25,8	21,7	15,8	16,3	13
сельскохозяйственные потребности	21	9,4	9	8,2	7,7	7,5	7,4
прудно-рыбное хозяйство	14,5	16	10,9	14	22,9	36,2	20
Потери воды при транспортировке	262,7	332,6	330,2	314,2	262,7	310,2	296,9
Общее водоотведение, из него в поверхностные водные объекты в том числе	1 751	1 653	1 697	1 544	1 274	1 503	1 526
загрязненных оборотных вод	942,8	1374,4	1438,3	614,5	530,6	550,3	554,2
нормативно очищенных	286,6	247,8	225,9	238,4	202,2	200,6	210,9
нормативно чистых без очистки	521,3	30,8	32,6	691,5	497,3	752	761
Объем оборотной и последовательно использованной воды	7 832	7 843,7	7 850,3	7 787	6 797	7 143	7 625
Процент экономии свежей воды за счет оборотной и последовательно использованной, %	86,8	87	86,7	85,3	86,6	86	86,4
Мощность очистных сооружений	1 534	1 485	1 529	1 532	1 537	1 513	1 656

Забор воды по области в 2022 году составил 2 142 млн м<sup>3</sup>, что на 135 млн м<sup>3</sup> (6 %) больше, чем в 2021 году (таблица 1). В том числе забрано 377 млн м<sup>3</sup> подземной воды (из них 329,8 – шахтные и карьерные), что на 10 млн м<sup>3</sup> меньше, чем в 2021 году. За последние 10 лет забор воды по области уменьшился почти на 600 млн м<sup>3</sup> (20 %). Это, прежде всего, связано с повышением стоимости воды и, как следствие, с ее более экономным использованием.

Однако интенсивность использования водных ресурсов в области остается самой высокой в ДНР (таблица 2). В связи с этим, область занимает первое место в стране и по сбросу загрязненных сточных вод.

**Таблица 2** – Использование водных ресурсов Донецкой области на 2019 г.

	Потребление свежей воды, млн м <sup>3</sup>	Объем повторно использованной воды, млн м <sup>3</sup>	Сброс загрязненных вод, млн м <sup>3</sup>	Часть в общем объеме сброса оборотных вод, %
Донецкая область	1 562	8 018	1 374	83

Водные ресурсы региона активно используются водохозяйственным комплексом, который отличается высокой плотностью населения и высоким уровнем развития промышленности, представленной водоемкими и экологически опасными производствами, что на фоне низкой водообеспеченности местным стоком, требует принятия взвешенных управленческих решений по созданию условий для постоянного водоснабжения промышленных предприятий.

Тепловое загрязнение связано с повышением температуры вод в результате их смешивания с более нагретыми поверхностными или технологическими водами. Оно вызывается тепловыми электростанциями и металлургическими предприятиями и вносится в поверхностные водоемы с отработанной охлаждающей водой (таблица 3).



**Таблица 3** – Использование ресурсов малых рек для работы ТЭС Донецкой области

№ п/п	ТЭС	Река	Технологические особенности системы охлаждения
1.	Зуевская	Крынка	Брызгалки и градирни, оборотная
2.	Славянская	Северский Донец	Прямоточно-оборотная, пруды-охладители
3.	Старобешевская	Кальмиус	Градирни, оборотная, водохранилище
4.	Мироновская	Лугань	Оборотная, пруд-охладитель
5.	Кураховская	Волчья	Оборотная, водохранилище
6.	Углегорская	Лугань	Оборотная, водохранилище

На каждый 1 МВт выработанной электроэнергии приходится – 3 т пара, на каждую 1 т пара, которая конденсируется в конденсаторе, требуется до 50 т охлаждающей воды. Для средней станции, например Старобешевской мощностью 1 000 МВт, приходится 3 000 т пара, при этом выбрасывается 150 000 т воды/ч с выбросом тепла. В этой воде химических загрязнений относительно мало, но тепловое загрязнение очень большое.

В 2022 году в Донецкой области сброс сточных вод по учету осуществляли 272 предприятия-водопользователя в объеме 1 526 млн м<sup>3</sup>. Объем сброшенных в поверхностные водные объекты сточных вод в 2021 году составил 1 503 млн м<sup>3</sup>. Сброс загрязненных сточных вод с 550,3 в 2021 году несколько увеличился в 2022 году – до 554,2 млн м<sup>3</sup>. И хотя количество загрязненных сточных вод увеличилось, однако, процент их от общего количества сброшенных вод уменьшился до уровня 36 % (таблица 4).

**Таблица 4** – Динамика сброса оборотных вод, млн м<sup>3</sup>

Показатели	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Сброшено оборотных вод, всего	1 699	1 544	1 232	1 504	1 529
в том числе:					
в подземные горизонты	–	–	0,03	–	–
в накопители и на поля фильтрации	2	–	1,5	0,8	2,9
в поверхностные водные объекты	1 697	1 544	1 230	1 503	1 526
Сброшено оборотных вод в поверхностные водные объекты, всего	1 697	1 544	1 230	1 503	1 526
из них:					
нормативно очищенных, всего	225,9	238,4	202,2	200,6	210,9
в том числе:					
на сооружениях биологической очистки	195,5	190	174	158	157
на сооружениях физико-химической очистки	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3
на сооружениях механической очистки	30,2	48,2	28	42,2	53,6
нормативно (условно) чистых без очистки	32,6	691,5*	497,3*	752*	761*
загрязненных, всего	1 438	614,5*	530,6*	550,3*	554,2*
в том числе:					
недостаточно очищенных	601,8	550,2	513,4	533,5	541,7
без очистки	836,5*	770,8	17,2	16,8	12,5

Характеристика сточных вод и способов их очистки приведена в таблице 5. Под очисткой воды понимается обработка сточных вод с целью разрушения или удаления из нее загрязнений и вредных примесей. Выбор метода очистки индивидуален в каждом случае, и зависит от степени загрязнения воды, наличия вредных примесей, степени их вредности, расхода сточных вод, необходимой степени очистки, местных условий (рельефа местности, характера грунтов), энергетических затрат и др. Выбирать следует наиболее простые в эксплуатации и экономичные процессы очистки, позволяющие извлекать ценные компоненты, кислоты, щелочи, и использовать очищенную воду в системах оборотного, последовательного или замкнутого водоотведения или для сброса в водные объекты.

Таблица 5 – Классификация методов извлечения веществ

Тип загрязнителя	Методы очистки
Нерастворимые в воде грубодисперсные примеси - взвеси, суспензии и эмульсии (первая группа), образуют с водой гетерогенные кинетически неустойчивые соединения	Механические методы
Вещества коллоидной степени дисперсности ( $R < 0,1$ мкм), образующие с водой гидрофильные и гидрофобные системы, близкие к коллоидным растворам (вторая группа)	Флотация, электрофлотация, диализ, коагуляция, электрокоагуляция, флокуляция, фильтрация
Вещества молекулярной степени дисперсности ( $R < 0,01$ мкм). Растворимые органические соединения (третья группа)	Ультрафильтрация, сорбция с применением активированных углей
Ионные растворы ( $R < 0,001$ мкм). Растворы солей, кислот, щелочей, ионы металлов - электролиты (четвертая группа)	Электродиализ, обратный осмос, ионный обмен, электролиз, химические, реagentные, биологические, биохимические методы, дистилляция

Выбор оптимальных технологических схем очистки сточной воды обуславливается многообразием находящихся в воде примесей, концентрацией загрязнений и высокими требованиями, предъявляемыми к качеству воды. Проведены исследования использования осадительных, реagentных и биологических методов для очистки сточных вод. Выделения из сточных вод нерастворимых примесей происходит под действием гравитационных и центробежных сил. К аппаратам, предназначенным для выделения твердых и жидких примесей, основанных на гидродинамических закономерностях процесса отстаивания, относятся песколовки, отстойники и тонкослойные отстойники. Отстойники применяют для удаления нерастворенных дисперсных загрязнений, находящихся во взвешенном и плавающем состоянии под действием гравитационных сил. Процесс прост, достаточно эффективен, требует малых энергетических затрат и поэтому широко распространен в технологии очистки сточных вод.

В тонкослойных элементах имеет место ламинарный поток движения близкий к идеальному вытеснению, что обеспечивает устойчивую работу этих аппаратов при значительных колебаниях нагрузки и изменениях температуры (рис. 1).

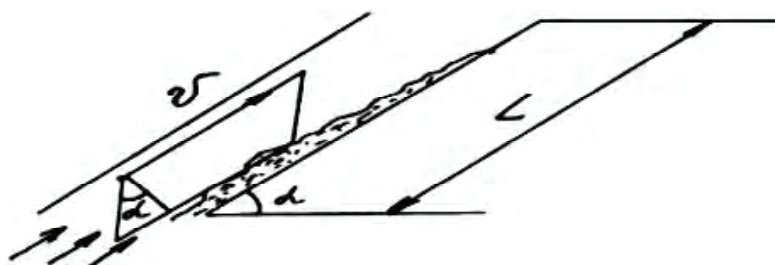


Рисунок 1 – Схема работы тонкослойного элемента.

Схема многоярусного тонкослойного отстойника показана на рисунке 2.

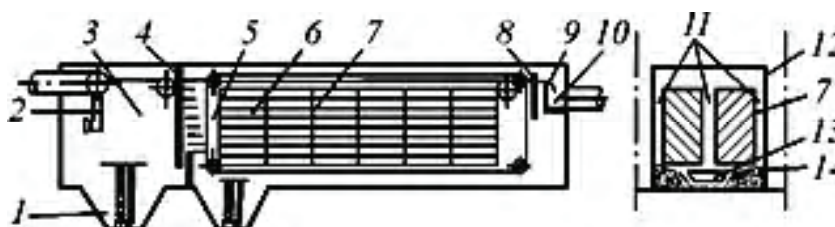


Рисунок 2 – Многоярусный тонкослойный отстойник с перекрестным движением воды и выделенного осадка:  
 1 – приямок для осадка; 2 – впускное устройство; 3 – зона грубой очистки; 4 – распределительное устройство;  
 5 – зона тонкой очистки; 6 – ярусы; 7 – блок пластин; 8 – полупогруженная перегородка; 9 – водослив;  
 10 – водоприемный лоток; 11 – зазоры, перегораживаемые щитками; 12 – корпус; 13 – скребок; 14 – лоток.

Отстойник изготовлен из железобетонного резервуара 12 прямоугольной формы. Отличительной особенностью является наличие двух зон отстаивания 3 и 5, имеющих самостоятельные приямки 1 для осадка. Сточная вода подается в первую зону грубой очистки 3, где из воды выделяются крупный песок. Наличие этой зоны позволяет отказаться от применения песколовков на очистных сооружениях.

После извлечения крупнодисперсных загрязнений, поток воды поступает в вертикальный канал пропорционального водораспределительного устройства 4, расположенного между первым и вторым приямками. Распределенный по сечению второй зоны поток жидкости поступает в пространство, разделенное параллельными пластинами на ярусы 6. Пластины объединены в блоки 7. Расстояние между блоками и распределительным устройством должно обеспечивать проход скребка. При движении рабочего потока в ярусах выделяются мелкодисперсные частицы и взвешенные вещества. Загрязнения всплывают к верхним пластинам яруса, укрупняются и движутся вверх по образующей яруса к периферии, а затем поднимаются на поверхность воды.

Существенно интенсифицировать процессы очистки воды в тонкослойных аппаратах удалось за счет применения процесса «Actiflo» (рис. 3).

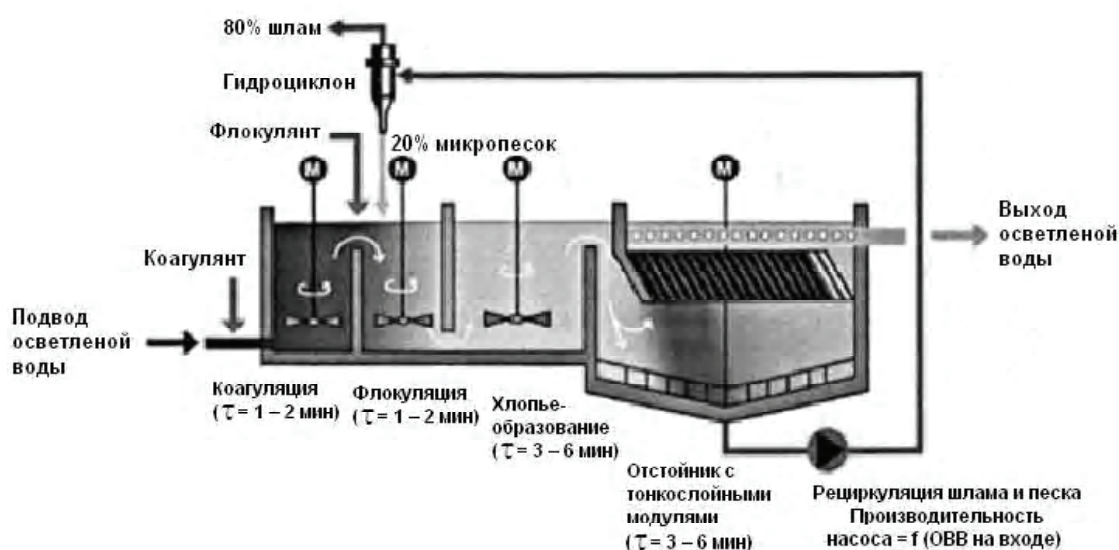


Рисунок 3 – Схема установки «Actiflo».

Исходная вода поступает в первую камеру быстрого смешения (камера коагуляции). Здесь для дестабилизации взвешенных и коллоидных веществ в воду, поступающую на очистку, добавляется коагулянт. Интенсивное перемешивание, предусмотренное на этой стадии процесса, служит для полного равномерного введения коагулянта в исходную воду. Время пребывания в камере коагуляции составляет около 2 мин. После коагуляции вода поступает во вторую камеру быстрого смешения, в которой происходит добавление микропеска. Он служит в качестве «присадки» для образования хлопьев и развития процесса на следующем этапе технологического процесса. Время пребывания в камере ввода микропеска составляет ~2 мин.

Преимущества процесса: 1) высокая эффективность очистки (снижение мутности > 90 %); 2) малая площадь размещения в сравнении с обычными осветлителями; 3) малые объемы общестроительных работ; 4) адаптивность: быстро реагирует на изменение качества исходной воды; обеспечивает постоянное высокое качество очищенной воды.

Металлы постепенно накапливаются в водных экосистемах и перераспределяются между отдельными видами организмов и неорганическими составляющими водоемов. Важным является применение соответствующих мер для очистки от загрязнений, поскольку избыточные дозы тяжелых металлов типа Cd, Cr, Cu, Ni и Zn разрушают естественные водные и наземные экосистемы. Одним из видов самоочищения водоемов является поглощение и накопление водной растительностью химических веществ (фитотехнологии), в том числе и тяжелых металлов.

Биоплато – искусственно созданные очистные системы для очистки сточных вод, с применением высших водных растений и микроорганизмов, при протекании через которых происходит процесс фильтрации, осаждения, поглощения и адсорбции. Применяются для очистки поверхностного и дренажного стока, а также для доочистки различных категорий сточных вод. Конструкция биоплато обеспечивает движение потока жидкости, которая очищается в горизонтальной плоскости – через заросли макрофитов и в вертикальной – через насыщенную корнями прослойку грунтов, насыщенную микрофлорой и хорошо развитым альгоценозом (рис. 4).

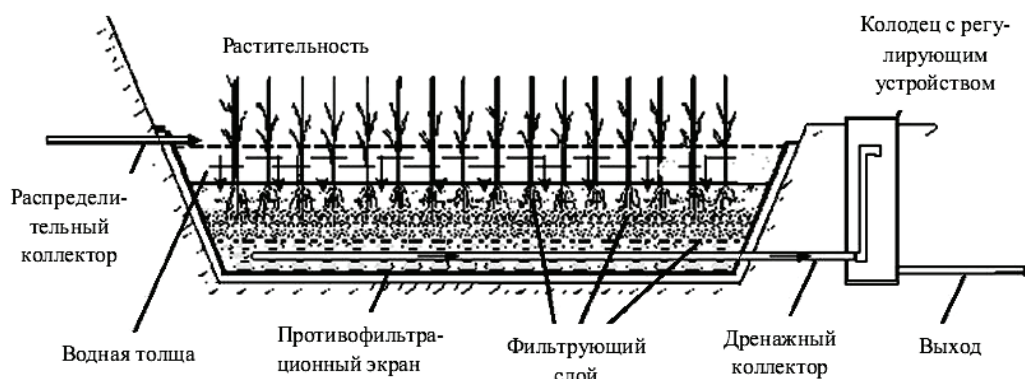


Рисунок 4 – Схема биоплато.

Биоплато имеет ряд крупных преимуществ: 1) экономический анализ строительства и эксплуатации сооружений биоплато показал их несомненные преимущества – стоимость такой системы очистки намного меньше по сравнению со стоимостью традиционных очистных сооружений, при удовлетворительном качестве очистки воды от соединений азота, фосфора, взвешенных и органических веществ; 2) экологично, является биотопом для многих диких организмов; 3) для размещения и строительства можно использовать земли, которые не подлежат для какого-либо использования – бывшие свалки, пустыри, балки, заболоченные места и др.; 4) строительство сооружений для фитоочистки очень простое, осуществляется из местных материалов и не требует квалифицированной рабочей силы, специальных механизмов и дорогих материалов; 5) для эксплуатации биоплато и сооружений механической очистки достаточно 1 работника со средним уровнем квалификации; 6) при эксплуатации не используется электроэнергия, тепло и реагенты; 7) эффективно способствует защите водных объектов от загрязнения; 8) очистка до действующих экологических требований; 9) сроки введения в эксплуатацию биоплато – через 2 – 6 месяцев после начала строительства; 10) срок работы в автономном режиме без капитального ремонта до 30 лет и больше, т. к. это самовосстанавливающаяся система, поверхностные блоки в ремонте не нуждаются. Основная идея данной технологии очистки воды заключается в использовании природных элементов, которые функционируют благодаря солнечной энергии и не требуют обслуживания.

## ВЫВОДЫ

Приведена характеристика поверхностных и сточных вод региона. Донбасс отличается с одной стороны дефицитом водных ресурсов пресных вод, с другой стороны наличием значительного количества минерализованных стоков. Сточные воды загрязнены повышенной концентрацией соединений железа. Среднегодовая концентрация железа в контрольных створах водных объектов региона равна  $0,19 \text{ мг/дм}^3$ , при ПДК =  $0,1 \text{ мг/дм}^3$ .

Процент повышенных концентраций соединений тяжелых металлов до 16,2 % анализов, что свидетельствует о высоком уровне загрязнения. На долю солевых показателей приходится около 94 % от общего поступления загрязняющих веществ. 77 % вод загрязненных тяжелыми металлами, в них суммарный объем накопленных высокоминерализованных вод достигает 1 куб. км.

Основным фактором воздействия водной среды на поведение тяжелых металлов является показатель pH. Оптимальные значения показателей pH для осаждения отдельных тяжелых металлов существенно отличаются, что вызывает необходимость использования ступенчатого осаждения при наличии в сточных водах многих компонентов.

Обоснованы преимущества применения процесса Actiflo, обеспечивающего наиболее высокую производительность за счет снижения индукционного периода, потому что в центр кристаллизации вводится песок. Он малочувствителен к изменению температуры, изменению нагрузки и получается относительно стабильного качества осветленная вода при переработке большого количества стоков.

Обоснованы приоритетные направления очистки сточных вод от тяжелых металлов с использованием осадительной технологии, реагентов и высших водных растений. Для повышения степени очистки воды предпочтительно использование комбинации двух или более методов.

Обоснована целесообразность использования биологических методов очистки с применением секционирования биоплато для создания последовательных потоков воды с приближением к работе реакторов идеального вытеснения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экологические проблемы Восточного Донбасса / В. В. Приваленко, З. Р. Кузина, Г. Ю. Коломенский [и др.]. – Текст : непосредственный // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: естественные науки. – 2004. – № S7. – С. 36–49.
2. Головатенко, Е. Л. Экологическая безопасность водных объектов донецкого региона / Е. Л. Головатенко, В. А. Максимов. – Текст : непосредственный // Природопользование и безопасность жизнедеятельности : сборник докладов студенческой конференции, Донецк, 7 апреля 2022 г. / редакционная коллегия А. Макеева, Д. А. Козырь. – Донецк : ДОННТУ, 2022. – С. 69–71.
3. Бирман, Ю. А. Инженерная защита окружающей среды. Очистка вод. Утилизация отходов / Ю. А. Бирман, Н. Г. Вурдовой. – Москва : Издательство АСВ, 2015. – 296 с. – ISBN 5-93093-121-3. – Текст : непосредственный.
4. Paull, D. Monitoring the Environmental Impact of Mining in Remote Locations through Remotely Sensed Data / D. Paull, G. Banks, C. Ballard [et al.]. – Текст : непосредственный // Geocarto International. – 2006. – № 1. – Р. 33–42.
5. Ворон, Л. В. Проблемы очистки шахтных вод / Л. В. Ворон, Л. Р. Ланге, А. М. Благоразумова. – Текст : непосредственный // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. – 2015. – № 2(15). – С. 76–79. – ISBN 628-034.
6. Проектирование систем сбора и очистки поверхностных сточных вод : учебное пособие / Е. И. Вялкова, С. В. Максимова, Ю. А. Иванюшин, А. М. Фугаева. – Тюмень : Тюменский индустриальный университет, 2020. – 140 с. – ISBN 978-5-9961-2371-1. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/115058.html> (дата обращения: 02.10.2023). – Режим доступа: для авторизир. пользователей.
7. Ахмадуллина, Ф. Ю. Реагентная очистка сточных вод от тяжелых металлов. Теоретические основы, материальные расчеты : учебное пособие / Ф. Ю. Ахмадуллина, Л. А. Федотова, Р. К. Закиров. – Казань : Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2016. – 92 с. – ISBN 978-5-7882-1819-9. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/62263.html> (дата обращения: 02.10.2023). – Режим доступа: для авторизир. пользователей.
8. Барабаш, Н. В. Биохимические методы очистки сточных вод : учебное пособие / Н. В. Барабаш. – Ставрополь : Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. – 98 с. – Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. – URL: <https://www.iprbookshop.ru/63076.html> (дата обращения: 02.10.2023). – Режим доступа: для авторизир. пользователей.

Получена 18.10.2023

Принята 27.10.2023

К. Л. ГОЛОВАТЕНКО

ОЦІНКА СТАНУ ВОДНИХ РЕСУРСІВ НА ТЕРИТОРІЇ ДОНЕЦЬКОГО РЕГІОНУ

ФДБОУ ВО ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури», Російська Федерація, Донецька Народна Республіка, м. о. Макіївський, м. Макіївка

**Анотація.** В умовах високорозвиненої промисловості і великої кількості населення в Донбасі щодня використовують велику кількість води. Водні ресурси регіону активно використовуються водогосподарським комплексом, який відрізняється високою щільністю населення і високим рівнем розвитку промисловості, представленої водоемкими і екологічно небезпечними виробництвами, що на тлі низької водозабезпеченості місцевим стоком, вимагає прийняття зважених управлінських рішень щодо створення умов для постійного водопостачання промислових підприємств. Використання значних обсягів водних ресурсів на виробничі потреби, забруднення поверхневих і підземних джерел промисловими і сільськогосподарськими стоками і відходами виробництв завдають великої шкоди водним об'єктам, призводять до виснаження водних джерел і втрати здатності до самоочищення.

Скидання великої кількості неочищених стічних вод, а також багаторічна акумуляція забруднюючих речовин в донних відкладеннях призвели до того, що більшість водних об'єктів області відноситься до категорії брудних і дуже брудних.

**Ключові слова:** водні ресурси, водовідведення, забруднюючі речовини, методи очищення.

EKATERINA GOLOVATENKO  
ASSESSMENT OF THE STATE OF WATER RESOURCES IN THE DONETSK  
REGION

FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture», Russian Federation, Makeevka

**Abstract.** In conditions of highly developed industry and a large number of people in the Donbass, a large amount of water is used daily. The water resources of the region are actively used by the water management complex, which is characterized by a high population density and a high level of industrial development, represented by water-intensive and environmentally hazardous industries, which, against the background of low water supply with local runoff, requires balanced management decisions to create conditions for permanent water supply to industrial enterprises. The use of significant amounts of water resources for production needs, pollution of surface and underground sources by industrial and agricultural effluents and industrial waste cause great harm to water bodies, lead to depletion of water sources and loss of the ability to self-clean. The discharge of a large amount of untreated wastewater, as well as the long-term accumulation of pollutants in the bottom sediments led to the fact that most of the water bodies of the region belong to the category of dirty and very dirty.

**Keywords:** water resources, wastewater disposal, pollutants, purification methods.

**Головатенко Катерина Леонидовна** – ассистент кафедры техносферной безопасности ФГБОУ ВО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: повышение уровня экологической безопасности в технологических циклах оборотного водоснабжения; снижение негативного воздействия на водные объекты путем совершенствования технологии обработки сточных вод.

**Головатенко Катерина Леонідівна** – асистент кафедри техносферної безпеки ФДБОУ ВО ФДБОУ ВО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: підвищення рівня екологічної безпеки в технологічних циклах оборотного водопостачання; зниження негативного впливу на водні об'єкти шляхом вдосконалення технології обробки стічних вод.

**Golovatenko Ekaterina** – Assistant, Technosphere Safety Department, FSBEI HE «Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture». Scientific interests: increasing the level of environmental safety in the technological cycles of circulating water supply; reducing the negative impact on water bodies by improving wastewater treatment technology.

---

## СОДЕРЖАНИЕ

НАЙМАНОВ А. Я., ТУРЧИНА Г. С. Рациональная длина участков кольцевой сети водоснабжения с точки зрения надежности	5
ТРЯКИНА А. С., ГУТАРОВА М. Ю., ГОСТЕВА Ю. В. Определение перспективных объемов накопления твердых коммунальных отходов в городе Макеевке	12
МИТЯКИН В. А., РАДИОНЕНКО В. Н. Об опыте использования биогазовой установки при переработке сельскохозяйственных отходов	20
ЦВЕТОВА А. Э., РАДИОНЕНКО В. Н., ГУЛЬКО С. Е. К вопросу о рациональном использовании подземных пространств ликвидируемых предприятий горной промышленности	25
БАШЕВАЯ Т. С., БЕЛОУС Н. Н. Комплексный анализ проблемы накопления твердых коммунальных отходов	30
БЕЛЕЦКИЙ Я. О., СЕРДЮК А. И. Рациональные методы переработки пластиковых отходов	37
РОЖКОВ В. С., БЕРЁЗА П. Г., ВАЩУК А. В. Влияние естественных и антропогенных факторов на состав городских сточных вод	44
МАРКИН В. В. Особенности реконструкции канализационных очистных сооружений малых населенных пунктов с биологическими прудами	50
ПАВЛЮЧЕНКО А. С., ГРИГОРЕНКО Н. И. Системный подход к разработке логики управления насосной станции пожаротушения	58
ЛУКЪЯНОВ А. В., РЫБАК Д. Э. Экологические вопросы применения теплогенераторов малой мощности для автономных систем теплоснабжения	64
АНТОНЕНКО С. Е., ДОРОХИН В. О. Международный опыт переработки и утилизации солнечных панелей	69
САВИЧ Д. В., УДОВИЧЕНКО З. В., КОЛОСОВА Н. В. Процессы нагрева воды в засыпном слое аппаратов зернистого типа	76
ОЛЕКСЮК А. А., ДОЛГОВ Н. В., ПОЛКОВНИКОВ А. А. Анализ теплового потенциала солнечного излучения для использования в системах теплоснабжения на территории Донбасса	82
ЧЕРНЫШЕВА Т. А., НОВИКОВ Б. А., БОДАЧЕВСКИЙ О. И. Методы исследования естественной световой среды в помещениях детского дошкольного учреждения	88
САМОЙЛОВА Е. Э., ЛЫСИКОВА Т. Д. Совершенствование технологии очистки газовых выбросов производства асфальтобетонных смесей	98
ГУЛЬКО С. Е., НАСОНКИНА Н. Г., СОКОЛОВ Д. Г., АНТОНЕНКО С. Е., ЗАБУРДАЕВ В. С. Анализ возможности использования золошлаковых отходов ТЭС ДНР в строительстве	103
ШЕЙХ А. А., ЛИСНЯК Н. Е. Анализ существующей ситуации в сфере обращения с ТКО на территории Донецкой Народной Республики	113
ГОЛОВАТЕНКО Е. Л. Оценка состояния водных ресурсов на территории Донецкого региона	118

Статьи, публикуемые в журнале «Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры», размещены

- в российской информационно-аналитической системе –  
Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)
- в электронно-библиотечной системе IPRbooks
- в информационно-поисковой системе Google Scholar.

---

## ЗМІСТ

НАЙМАНОВ А. Я., ТУРЧИНА Г. С. Раціональна довжина ділянок кільцевої водопровідної мережі з точки зору надійності	5
ТРЯКІНА А. С., ГУТАРОВА М. Ю., ГОСТЄВА Ю. В. Визначення перспективних об'ємів накопичення твердих комунальних відходів у місті Макіївці	12
МІТЯКІН В. О., РАДІОНЕНКО В. М. Про досвід використання біогазової установки під час переробки сільськогосподарських відходів	20
ЦВЕТОВА А. Е., РАДІОНЕНКО В. М., ГУЛЬКО С. Є. До питання про раціональне використання підземних просторів ліквідованих підприємств гірничої промисловості	25
БАШЕВА Т. С., БІЛОУС Н. М. Комплексний аналіз проблеми накопичення твердих комунальних відходів	30
БІЛЕЦЬКИЙ Я. О., СЕРДЮК О. І. Раціональні методи переробки пластикових відходів	37
РОЖКОВ В. С., БЕРЕЗА П. Г., ВАЦУК О. В. Вплив природних і антропогенних факторів на склад міських стічних вод	44
МАРКІН В. В. Особливості реконструкції каналізаційних очисних споруд малих населених пунктів із біологічними ставками	50
ПАВЛЮЧЕНКО О. С., ГРИГОРЕНКО Н. І. Системний підхід до розробки логіки управління насосною станцією пожежогасіння	58
ЛУК'ЯНОВ О. В., РИБАК Д. Е. Екологічні питання застосування теплогенераторів малої потужності для автономних систем теплопостачання	64
АНТОНЕНКО С. Є., ДОРОХІН В. О. Міжнародний досвід переробки та утилізації сонячних панелей	69
САВИЧ Д. В., УДОВИЧЕНКО З. В., КОЛОСОВА Н. В. Процеси нагріву води в засипному шарі апаратів зернистого типу	76
ОЛЕКСЮК А. О., ДОЛГОВ М. В., ПОЛКОВНИКОВ О. А. Аналіз теплового потенціалу сонячного випромінювання для використання в системах теплопостачання на території Донбасу	82
ЧЕРНИШЕВА Т. О., НОВІКОВ Б. О., БОДАЧЕВСЬКИЙ О. І. Методи дослідження природного світлового середовища в приміщеннях дитячого дошкільного закладу	88
САМОЙЛОВА О. Е., ЛИСІКОВА Т. Д. Вдосконалення технології очищення газових викидів виробництва асфальтобетонних сумішей	98
ГУЛЬКО С. Є., НАСОНКІНА Н. Г., СОКОЛОВ Д. Г., АНТОНЕНКО С. Є., ЗАБУРДАЄВ В. С. Аналіз можливості використання золошлакових відходів ТЕС ДНР в будівництві	103
ШЕЙХ О. О., ЛІСНЯК Н. Є. Аналіз існуючої ситуації у сфері поводження з ТКО на території Донецької Народної Республіки	113
ГОЛОВАТЕНКО К. Л. Оцінка стану водних ресурсів на території Донецького регіону	118

Статті, що публікуються у журналі «Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури», розміщені

- в російській інформаційно-аналітичній системі – Російський індекс наукового цитування (РІНЦ)
- в електронно-бібліотечній системі IPRbooks
- в інформаційно-пошуковій системі Google Scholar.



---

## CONTENTS

NAIMANOV AUBEKIR, TURCHINA GALINA. Rational Sections Length of Loop Water Supplies Nets From the Viewpoint of Reliability	5
TRYAKINA ALYONA, GUTAROVA MARINA, GOSTEVA YULIYA. Determination of Prospective Volume of Accumulation of Solid Municipal Waste in the City of Makeyevka	12
MITYAKIN VLADIMIR, RADIONENKO VITALY. On the Experience of Using a Biogas Plant for Processing Agricultural Waste Annotation	20
TSVETOVA ARINA, RADIONENKO VITALY, GULKO SERGEY. On the Issue of Rational use of Underground Spaces of Liquidated Mining Enterprises	25
BASHEVAYA TATIANA, BELOUS NATALIA. Comprehensive Analysis of the Problem that is Devoted to the Accumulation of Solid Municipal Waste	30
BELETSKY YAROSLAV, SERDYUK ALEXANDER. Rational Methods for Recycling Plastic Waste	37
ROZHKOVA VITALIY, BEREZA PAVEL, VASHCHUK OLEKSANDR. Influence of Natural and Anthropogenic Factors on the Composition of Urban Wastewater	44
MARKIN VYACHESLAV. Features of the Reconstruction of Sewage Treatment Plants of Small Settlements with Biological Ponds	50
PAVLUCHENKO ALEKSANDR, GRIGORENKO NADEZHDA. A Systematic Approach to the Development of Control Logic for a Fire Extinguishing Pumping Station	58
LUKYANOV ALEXANDER, RYBAK DANIL. Environmental Issues of the use of Low-Power Heat Generators for Autonomous Heat Supply Systems	64
ANTONENKO SVETLANA, DOROKHIN VLADISLAV. International Experience in the Disposal and Recycling of Solar Panels	69
SAVICH DARIA, UDOVICHENKO ZLATA, KOLOSOVA NELLY. Processes of Heating Water in the Backfill Layer of Granular-Type Devices	76
OLEKSIUK ANATOLIY, DOLGOV NIKOLAI, POLKOVNIKOV ALEXEY. Analysing the Thermal Potential of Solar Radiation for use in Heat Supply Systems on the Territory of Donbas	82
CHERNYSHEVA TAMARA, NOVIKOV BOGDAN, BODACHEVSKIY OLEG. Methods for Studying the Natural Light Environment in the Premises of a Preschool Institution	88
SAMOJLOVA HELEN, LYSIKOVA TATIANA. Improving the Technology of Cleaning Gas Emissions from the Production of Asphalt Concrete Mixtures	98
GULKO SERGEY, NASONKINA NADIYA, SOKOLOV DMITRY, ANTONENKO SVETLANA, ZABURDAEV VIACHESLAV. Analysis of the Possibility of using Ash and Slag Waste from DPR Thermal Power Plants in Construction	103
SHEIKH ALEXANDRA, LISNYAK NATALIA. Analysis of the Existing Situation in the Field of MSW Management in the Territory of the Donetsk People's Republic	113
GOLOVATENKO EKATERINA. Assessment of the State of Water Resources in the Donetsk Region	118

The articles published in journal «Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture» are indexed by:

- the Russian Information and Analytical System – Russian Science Citation Index (RSCI)
- the electronic-library system IPRbooks
- the search engine Google Scholar.